

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Vliv vlhkosti na smykovou pevnost nesoudržných zemin

Effect of Water Content on the Shear Strength of Cohesionless Soil

Student:

Ondrej Kubala

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Karel Vojtasík, CSc.

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

## Zadání bakalářské práce

Student: **Ondrej Kubala**  
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství  
Studijní obor: 3647R017 Geotechnika  
Téma: **Vliv vlhkosti na smykovou pevnost nesoudržných zemin**  
**Effect of Water Content on the Shear Strength of Cohesionless Soils**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Úvod  
Popisné a pevnostní parametry zemin  
Zkoumání zemin Vasiljevovým kuželem  
Návrh aplikace zkoušky Vasiljevovým kuželem k zkoumání nesoudržných zemin  
Výkonání měření na vzorcích  
Vyhodnocení výsledků měření  
Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:


Šimek, J., Jesenák, J., Eichler, J., Vaníček, I. : *Mechanika zemin*. Praha : SNTL, 1990. ISBN 80-03-00428-4.  
Craig, R.F. : *Craig's Soil Mechanics Seventh Edition*. London and New York : Spoon Press Taylor & Francis Group, 2004. ISBN 0-415-32703-2.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Karel Vojtasík, CSc.**

Datum zadání: 31.10.2016

Datum odevzdání: 02.05.2017

  
doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
děkan fakulty

### **Prehlásenie študenta**

Prehlasujem, že som celú bakalársku prácu vrátane príloh vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a uviedol som všetky použité podklady a literatúru.

V Ostrave.....

.....

podpis študenta

### **Prehlasujem:**

- bol som zoznámený s tým, že na moju bakalársku prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, najmä § 35 – užitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a užitia diela školského a § 60 – školské dielo.
- beriem na vedomie, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (ďalej iba VŠB – TUO) má právo neziskové ku svojej vnútornej potrebe bakalársku prácu použiť (§ 35 odst. 3).
- súhlasím s tým, že údaje o bakalárskej práci budú zverejnené v informačnom systéme VŠB – TUO.
- bolo zjednané, že s VŠB – TUO, v prípade záujmu z jej strany, uzavrú licenčnú zmluvu oprávnením použiť dielo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bolo zjednané, že užiť svoje dielo – bakalársku prácu alebo poskytnúť licenciu k jej využitiu môžu len so súhlasom VŠB – TUO, ktorá je oprávnená v takom prípade odomňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré boli VŠB – TUO na vytvorenie diela vynaložene (až do ich skutočnej výšky).
- beriem na vedomie, že odovzdaním svojej práce súhlasím so zverejnením svojej práce podľa zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.

V Ostrave.....



## **Anotácia**

Cieľom tejto bakalárskej práce je zistiť, či vlhkosť má vliv na šmykovú pevnosť nesúdržných zemín. Budem zisťovať, či vznikajú závislosti medzi vlhkosťami nesúdržných zemín a šmykovou pevnosťou zemín. Práca bude pozostávať z dvoch častí. Prvá časť bude teoretická, v ktorej popíšem popisné a pevnostné parametre zemín a druhá časť bude praktická. V tejto praktickej časti budem chodiť do laboratória a prevádzať skúšky. Skúšky budem robiť pomocou Vasiljevovho kužela a na čelust'ovom (krabicovom) prístroji. Z týchto skúšok vyhodnotím namerané hodnoty a určím, či medzi nimi vznikajú nejaké závislosti. Testovanou nesúdržnou zeminou bude kremenný piesok.

Kľúčové slová:

Vasiljevov kužel, vlhkosť, čelust'ový (krabicový) prístroj, kremenný piesok

## **Anotation**

Purpose of this bachelor work is to determine influence of moisture on shear strength in cohesionless soils. I will examine, if there is a relation between moisture of cohesionless soils and shear strength of soils. This work will have two parts. First part will be theoretic, i will describe soil parameters, and second part will be practical. In this practical part, i will do tests in the laboratory. Test will be done with Vasilievov's cone, and with direct shear box. I will process measured data, and examine, if there is a relation between them. Testing cohesionless soil will be quartz sand.

Key words:

Vasilievov's cone, moisture, direct shear box, quartz sand

## Obsah

Anotation .....	5
1. Úvod.....	8
2. Popisné parametre zemín .....	9
2.1. Objemová hmotnosť .....	9
2.2. Prirodzene vlhkej zeminy – $\rho$ .....	9
2.3. Vysušenej zeminy - $\rho_d$ .....	9
2.4. Pevných častíc zeminy – $\rho_s$ .....	10
2.5. Nasýtenej zeminy .....	10
2.6. Pod hladinou podzemnej vody .....	10
2.7. Krivka zrnitosti .....	10
2.8. Vlhkosť .....	12
2.9. Pórovitosť .....	12
2.10. Číslo pórovitosti.....	13
2.11. Stupeň nasýtenia .....	13
2.12. Index relatívnej hutnosti .....	14
3. Pevnostné parametre zemín .....	15
4. Skúmanie zemín Vasiljevovým kužeľom .....	21
4.1. Laboratórne zariadenie a pomôcky.....	21
4.2. Postup skúšky .....	22
4.3. Vyhodnotenie skúšky .....	23
5. Návrh aplikácie skúšky Vasiljevovým kužeľom ku skúmaniu nesúdržných zemín.....	25
6. Skúmanie zemín čel'ust'ovou (krabicovou) skúškou.....	26
6.1. Princíp skúšky.....	26
6.2. Vyhodnotenie skúšky : .....	28
7. Vykonanie merania na vzorkách.....	30
7.1. Zatriedenie zeminy .....	31

7.2. Príprava vzorku.....	33
8. Vyhodnotenie výsledkov meraní .....	40
8.1. Závislosť zaborenia na vlhkosti.....	40
8.2. Vzorka č. 1.....	42
8.3. Vzorka č. 2.....	43
8.4. Vzorka č. 3.....	45
8.5. Vzorka č. 4.....	46
8.6. Vzorka č. 5.....	48
8.7. Závislosť uhla vnútorného trenia a súdržnosti na vlhkosti.....	50
8.8. Vzorka č. 1.....	51
8.9. Vzorka č. 2.....	52
8.10. Vzorka č. 3.....	54
8.11. Vzorka č. 4.....	56
8.12. Vzorka č. 5.....	57
9. Záver .....	60
ZOZNAM OBRÁZKOV.....	61
ZOZNAM TABULIEK.....	63
ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV .....	64
ZOZNAM PRÍLOH .....	65
Podakovanie.....	66

## 1. Úvod

O vlastnostiach nesúdržných zemín sa dozvieme najviac zo skúšok in-situ ako napr. štandardný penetračný test. Pomocou tejto skúšky zistujeme pevnostné parametre zemín. Používa sa preto, lebo je veľmi ťažké odobrať neporušenú vzorku nesúdržných zemín (piesok, štrk). V tejto bakalárskej práci sa snažím zistiť pomocou laboratórnych skúšok, či má vlhkosť vplyv na šmykovú plochu nesúdržných zemín. V prvej časti budem popisovať popisné a pevnostné parametre nesúdržných zemín a postup skúšok ktoré budú prevádzané. V druhej časti budem popisovať postup prevádzania skúšok v laboratóriu. Budem skúmať päť vzoriek kremenného piesku, ktorého každá vzorka bude mať inú vlhkosť. Prevediem sitový rozbor ktorého výsledkom bude krivka zrnitosti. Pomocou Vasiljevovho kužela zistím hĺbku penetrácie vo vzorkách s rôznou vlhkosťou a budem zisťovať, či je medzi nimi nejaká závislosť. Ďalšou skúškou bude skúška šmykovej pevnosti, ktorá bude prevádzaná čelust'ovým (krabicovým) prístrojom. Týmto prístrojom budeme merať šmykové napätie potrebné k porušeniu vzorku a z neho stanovíme uhol vnútorného trenia. Tak isto budeme hľadať závislosť medzi vlhkosťou a uhlom vnútorného trenia.

## 2. Popisné parametre zemín

### 2.1. Objemová hmotnosť

Stanovuje sa podľa ČSN EN ISO 17892-2 (Geotechnický prieskum a skúšanie - Laboratórne skúšky zemín - Časť 2: Stanovenie objemovej hmotnosti jemnozrnných zemín) a podľa ČSN EN ISO 17892-3 (Geotechnický prieskum a skúšanie - Laboratórne skúšky zemín - Časť 3: Stanovenie zdanlivej hustoty pevných častíc zemín pomocí pyknometru).

### 2.2. Prirodzene vlhkej zeminy – $\rho$

Objemová hmotnosť prirodzene vlhkej zeminy udáva pomer medzi hmotnosťou a celkovým objemom prirodzene vlhkého vzorku.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (2.1)$$

$m$  – hmotnosť prirodzene suchého vzorku [kg],

$V$  – objem prirodzene suchého vzorku [ $\text{m}^3$ ].

### 2.3. Vysušenej zeminy - $\rho_d$

Objemová hmotnosť vysušenej zeminy udáva pomer medzi hmotnosťou pevných častíc zeminy vysušenej pri teplote 105 - 110 °C a celkovým objemom zeminy.

$$\rho_d = \frac{m_d}{V} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (2.2)$$

$m_d$  – hmotnosť pevných častíc vysušenej zeminy [kg],

$V$  – celkový objem [ $\text{m}^3$ ].

## 2.4. Pevných častíc zeminy – $\rho_s$

Merná hmotnosť zeminy udáva pomer hmotnosti jednotlivých pevných častíc zeminy vysušenej pri teplote 105 - 110 °C k ich objemu.

$$\rho_s = \frac{m_d}{V_s} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (2.3)$$

$m_d$  – hmotnosť pevných častíc vysušenej zeminy [kg],

$V_s$  – objem pevných častíc [ $\text{m}^3$ ].

## 2.5. Nasýtenej zeminy

$$\rho_{\text{SAT}} = \rho_d + \rho_w \cdot n \quad [\text{kg/m}^3] \quad (2.4)$$

$\rho_d$  – objemová hmotnosť vysušenej zeminy [ $\text{kg/m}^3$ ],

$\rho_w$  – objemová hmotnosť vody [ $\text{kg/m}^3$ ],

$n$  – pórovitosť [%].

## 2.6. Pod hladinou podzemnej vody

$$\rho_{\text{SU}} = (1-n) \cdot (\rho_s - \rho_w) \quad [\text{kg/m}^3] \quad (2.5)$$

$\rho_s$  – objemová hmotnosť pevných častíc zeminy [ $\text{kg/m}^3$ ],

$\rho_w$  – objemová hmotnosť vody [ $\text{kg/m}^3$ ],

$n$  – pórovitosť [%].

## 2.7. Krivka zrnitosti

Krivka zrnitosti je súčtová krivka, ktorá vyjadruje kumulatívnu relatívnu početnosť jednotlivých zrnitostných frakcií, daných ich podielom na celkovej hmotnosti zeminy. Rozmery zrn zeminy sa pohybujú vo veľmi širokom rozpätí, od tisícín až po desiatky aj stovky milimetrov. Obsah jemných častíc ovplyvňuje pritom vlastnosti zemín obecné väčšou

mierou ako hrubšie zrná. Preto sa krivky zrnitosti znázorňujú zásadne v semilogaritmických súradniciach. Logaritmické vyjadrenie priemeru umožňuje dostatočne presné znázornenie podielu všetkých priemerov až po najmenšie. Určité zrnitostné skupiny v mechanike zemín označujeme spoločnými názvami. Pretože hranice medzi nimi sú konvenčné, nie sú v odbornej literatúre úplne rovnaké[1].

Krivky zrnitosti môžu mať rozmanité tvary. Môžu začínať v oblasti jemných alebo hrubších častíc, môžu byť príkre alebo pretiahnuté. Stručnú charakteristiku ich polohy, sklonu a tvaru poskytujú tri údaje: tzv. účinný priemer  $d_{ef}$ , číslo nerovnozrnnosti  $C_u$  a číslo krivosti  $C_c$ . Účinný priemer  $d_{ef}$  je priemer rovnako veľkých guľovitých zrn myslenej ideálnej zeminy, ktorá má v určitom ohľade rovnaké vlastnosti ako zemina. Účinný priemer  $d_{ef}$  sa pohybuje v oblasti malých zrn, ktorých podiel na hmotnosti je v rozpätí 10 až 20 % ( $d_{ef} = d_{10}$  až  $d_{20}$ ). Najčastejšie sa udáva priamo  $d_{ef} = d_{10}$ . Číslo nerovnozrnnosti  $C_u$  charakterizuje sklon strednej časti krivky zrnitosti a je definované ako pomer pomerov zrn[1].

$$C_u = d_{60}/d_{10} \quad (2.6)$$

Podľa hodnoty čísla nerovnozrnnosti delíme zeminy na rovnozrnné ( $C_u < 5$ ), stredne nerovnozrnné ( $5 < C_u < 15$ ) a na nerovnozrnné ( $C_u > 15$ ). Rovnozrnné zeminy majú v prírode zvyčajne vyššiu pórovitosť, sú priepustnejšie, majú menšiu šmykovú pevnosť a horšiu zhutniteľnosť ako zeminy nerovnozrnné. Tie sú výborným materiálom na budovanie zemných telies násypov, hrádzi a priehrad, najmä vtedy, ak majú plynule stúpajúcu krivku zrnitosti[1].

Číslo krivosti  $C_c$  charakterizuje približne tvar krivky zrnitosti. Určuje sa ako pomer pomerov zrn:

$$C_c = d_{30}^2/d_{10} \cdot d_{60} \quad (2.7)$$

Číslo krivosti je pomocná hodnota v klasifikácii zemín. Zeminy s hodnotami  $C_c = 1$  až 3 považujeme za dobre zrnené, tj. Majú plynulé krivky zrnitosti. Hodnoty nižšie a vyššie patria zeminám s chýbajúcimi frakciami, ktoré majú stupňovité krivky s vodorovnými alebo malo stúpajúcimi úsekmi. Ak leží taký úsek v oblasti zrn  $< d_{30}$ , platí  $C_c > 3$ , ak leží v oblasti zrn  $> d_{30}$ , platí  $C_c < 1$ . Zeminy s chýbajúcimi frakciami môžu mať nepriaznivé vlastnosti.

Napríklad v dunajských piesčitých štrkoch chýbajú zrna priemeru 0,5 až 2 mm. Prúdiaca voda môže zrnka piesku v póroch štrku bez ťažkostí premiestňovať a vyplavovať[1].

## 2.8. Vlhkosť

Je dôležitý faktor, ktorý ovplyvňuje chovanie zeminy. Ako vlhkosť zeminy označujeme len množstvo vody obsiahnuté v póroch. Táto voda sa dá odstrániť zahriatím na teplotu mierne nad 100 °C. Vlhkosť sa stanovuje podľa výrazu.

$$w = \frac{m_w}{m_d} * 100 \quad [\%] \quad (2.8)$$

$m_w$  – hmotnosť vody vo vzorku [kg],

$m_d$  – hmotnosť vzorku zeminy po vysušení [kg].

## 2.9. Pórovitosť

Drobné medzery medzi časticami zeminy sa nazývajú póry. Pórovitosť zeminy možno definovať ako pomer objemu pórov  $V_p$  k celkovému objemu zeminy  $V$ .

$$n = \frac{V_p}{V} = \frac{V - V_s}{V} = \frac{V - \frac{G_d}{\rho_s}}{V} = \left(1 - \frac{\rho_d}{\rho_s}\right) * 100 \quad [\%] \quad (2.9)$$

$V$  – celkový objem zeminy [ $\text{cm}^3$ ],

$V_p$  – objem pórov v zemine [ $\text{cm}^3$ ],

$V_s$  – objem pevných častíc v zemine [ $\text{cm}^3$ ],

$G_d$  – hmotnosť zeminy po vysušení [g],

$\rho_s$  – hustota pevných častíc zeminy [ $\text{g.cm}^{-3}$ ],

$\rho_d$  – objemová hmotnosť zeminy po vysušení [ $\text{g.cm}^{-3}$ ].



## 2.10. Číslo pórovitosti

Vyjadruje pomer objemu pórov  $V_p$  k objemu pevných častíc v zemine  $V_s$ .

$$e = \frac{V_p}{V_s} = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 \quad [-] \quad (2.10)$$

$V_p$  – objem pórov v zemine [ $\text{cm}^3$ ],

$V_s$  – objem pevných častíc v zemine [ $\text{cm}^3$ ],

$\rho_s$  – hustota pevných častíc zeminy [ $\text{g.cm}^{-3}$ ],

$\rho_d$  – objemová hmotnosť zeminy po vysušení [ $\text{g.cm}^{-3}$ ].

## 2.11. Stupeň nasýtenia

Často je dôležité poznať, aká časť pórov v zemine je vyplnená vodou. Možno to vyjadriť pomocou stupňa nasýtenia  $S_r$ , ktorý charakterizuje pomer objemu pórov vyplnených vodou  $V_{pw}$  k celkovému objemu pórov  $V_p$ .

$$S_r = \frac{V_{pw}}{V_p} = \frac{w * \rho_s}{e * \rho_w} * 100 \quad [\%] \quad (2.11)$$

$V_{pw}$  – objem pórov vyplnených vodou [ $\text{cm}^3$ ],

$V_p$  – objem pórov [ $\text{cm}^3$ ],

$w$  – vlhkosť zeminy vyjadrená v desatinných číslach,

$e$  – číslo pórovitosti [-],

$\rho_s$  – hustota pevných častíc zeminy [ $\text{g.cm}^{-3}$ ],

$\rho_w$  – hustota vody [ $\text{g.cm}^{-3}$ ].

## 2.12. Index relatívnej hutnosti

Z hľadiska premenlivosti vlastností konkrétneho piesku alebo štrku je najdôležitejšie vzájomné uloženie zrn. Zmena vlhkosti hrá menej významnú úlohu. Preto sa charakteristika stavu sypkej zeminy vyjadruje porovnaním konkrétneho čísla pórovitosti  $e$  s maximálnymi a minimálnymi hodnotami zistenými pre danú zeminu v laboratórií. Toto porovnanie je významnejšie ako obyčajné vyjadrenie absolútnou hodnotou pórovitosti s ohľadom na rozptyl pórovitosti. Číselne je konkrétny stav sypkej zeminy vyjadrený pomocou indexu relatívnej hutnosti  $I_D$ .

$$I_D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (2.12)$$

$e$  – číslo pórovitosti,

$e_{\max}$  – maximálne číslo pórovitosti, ktoré odpovedá najkyprejšiemu uloženiu pre skúšaný materiál, stanovenému laboratórne predpísaným spôsobom,

$e_{\min}$  – minimálne číslo pórovitosti, ktoré odpovedá najtesnejšiemu uloženiu pre skúšaný materiál, stanovenému laboratórne predpísaným spôsobom.

Tabuľka 1: Stav sypkých zemín

Stav	Index relativní hutnosti
Kypřý	< 0,33
Středně ulehlý	0,33 – 0,67
Ulehlý	0,67 – 1,0
Stmelený	> 1,0

### 3. Pevnostné parametre zemín

Z hľadiska navrhovania spoľahlivých a hospodárnych stavebných, resp. geotechnických konštrukcií, patrí problematika určovania šmykovej pevnosti zemín medzi najvýznamnejšie a najzložitejšie úlohy mechaniky zemín. V inžinierskych výpočtoch je potrebné poznať šmykovú pevnosť zemín pri riešení geotechnických problémov súvisiacich s pevnostnými a stabilitnými úlohami, t.j. s návrhom a posúdením stavebných konštrukcií podľa 1. Skupiny medzných stavov [2].

Šmykovú pevnosť zemín  $\tau_f$  resp. šmykové napätie, pri ktorom dôjde k porušeniu zeminy, definoval Coulomb rovnicou:

$$\tau_f = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \quad [\text{kPa}] \quad (3.1)$$

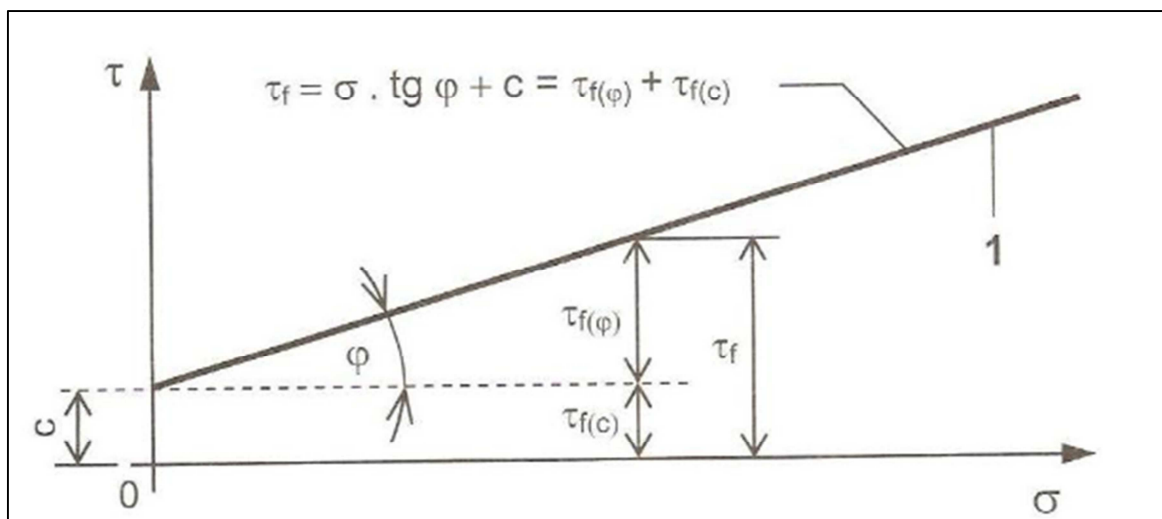
$\tau_f$  – šmyková pevnosť zeminy [kPa],

$\sigma$  – normálové napätie pôsobiace kolmo na rovinu porušenia šmykom [kPa],

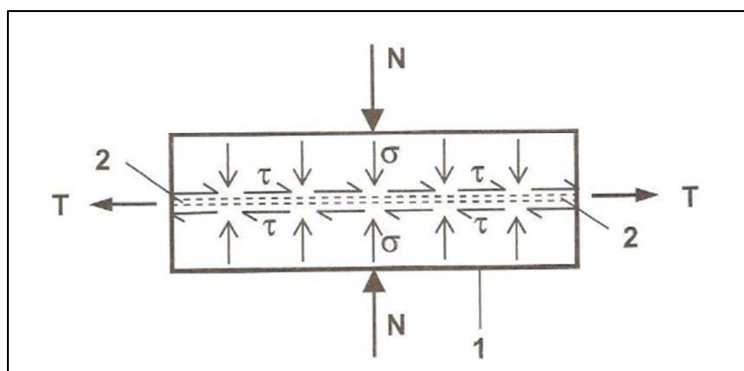
$\varphi$  – uhol vnútorného trenia zeminy [°],

$c$  – súdržnosť zeminy [kPa].

Z Coulombovej rovnice (3.1) vyplýva, že veľkosť šmykovej pevnosti závisí od veľkosti súdržnosti, uhla vnútorného trenia a normálového napätia v rovine šmyku. Grafickou interpoláciou rovnice (3.1) je priamka zobrazená na obr. 1, z ktorej je zrejmý aj geometrický význam parametra  $\varphi$  (uhla vnútorného trenia) a  $c$  (súdržnosti). Smery pôsobenia šmykového napätia  $\tau$  a normálového napätia  $\sigma$  vo vzorke zeminy sú zobrazené na obr. 2.



Obrázok 1 - Grafické zobrazenie čiar šmykovej pevnosti zeminy



Obrázok 2 - Grafické zobrazenie šmykového a normálového napätia pôsobiaceho vo vzorke zeminy pri namáhaní šmykom

Z hľadiska fyzikálneho významu predstavuje parameter uhla vnútorného trenia  $\varphi$  veľkosť trenia, ktoré pôsobí medzi pevnými časticami (zrnami) zeminy a parameter súdržnosti  $c$  predstavuje veľkosť šmykovej pevnosti (resp. väzby medzi pevnými časticami zeminy, kde významnú úlohu zohráva voda obsiahnutá v zemine) pri nulovom normálovom napätí [2]. Všeobecne možno konštatovať, že celkovú šmykovú pevnosť  $\tau_f$  tvorí (obr. 1):

a) Zložka šmykovej pevnosti  $\tau_{f(\varphi)}$ , ktorá je funkčne závislá od veľkosti vnútorného trenia ( $\text{tg}\varphi$ ) a veľkosti normálového napätia  $\sigma$ , t.j. platí vzťah:

$$\tau_{f(\varphi)} = \sigma \cdot \text{tg}\varphi \quad [\text{kPa}] \quad (3.2)$$

$\tau_{f(\varphi)}$  - zložka šmykovej pevnosti, ktorej veľkosť závisí od veľkosti trenia a normálového napätia pôsobiaceho na šmykovú plochu [kPa],

$\sigma$  – normálové napätie pôsobiace kolmo na rovinu porušenia [kPa],

$\varphi$  – uhol vnútorného trenia zeminy [°],

$\operatorname{tg}\varphi$  – trenie v zemine [-].

b) zložka šmykovej pevnosti  $\tau_{f(c)}$ , ktorá závisí od veľkosti súdržnosti  $c$  t.j. platí vzťah:

$$\tau_{f(c)} = c \quad [\text{kPa}] \quad (3.3)$$

$\tau_{f(c)}$  – zložka šmykovej pevnosti, ktorej veľkosť závisí od súdržnosti [kPa],

$c$  – súdržnosť zeminy [kPa].

Rovnicu (3.1) potom možno zapísať v upravenom tvare:

$$\tau_f = \tau_{f(\varphi)} + \tau_{f(c)} \quad [\text{kPa}] \quad (3.4)$$

$\tau_f$  – šmyková pevnosť zeminy [kPa],

$\tau_{f(\varphi)}$  – zložka šmykovej pevnosti, ktorej veľkosť závisí od veľkosti trenia a normálového napätia pôsobiaceho na šmykovú plochu [kPa],

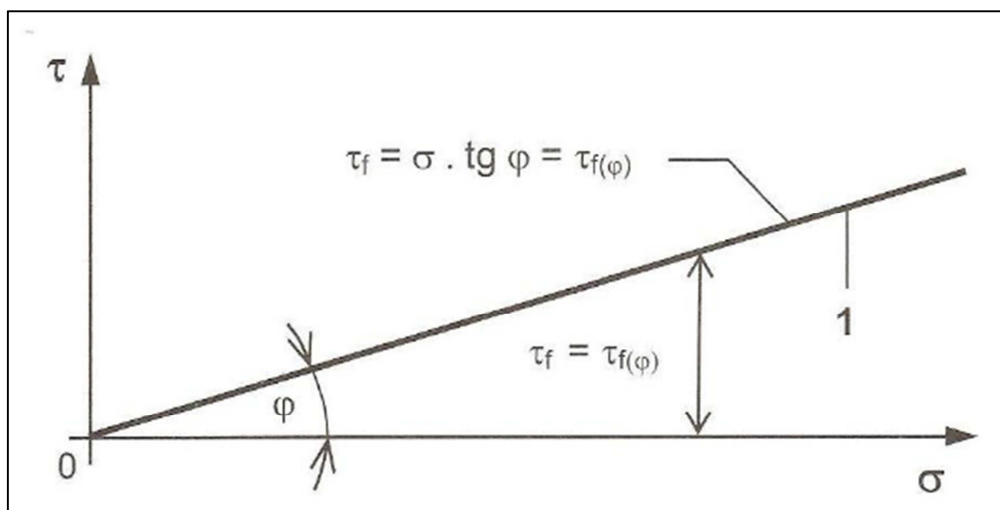
$\tau_{f(c)}$  – zložka šmykovej pevnosti, ktorej veľkosť závisí od súdržnosti [kPa].

Z teoretických predpokladov formulovaných vo vzťahoch (3.1) až (3.4) pre zeminy klasifikované v zmysle STN 72 1001 možno konštatovať, že:

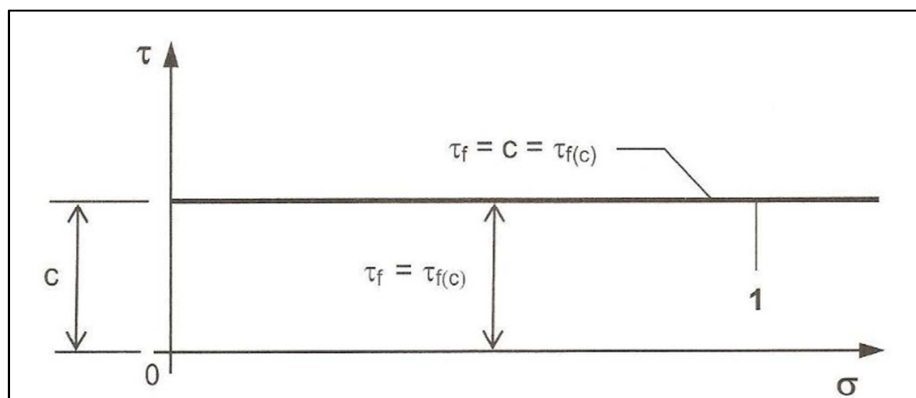
- Pri štrkovitých a piesčitých zeminách bez významnejšieho podielu jemnozrnnej frakcie, resp. ak obsah jemnozrnnej frakcie v zemine je menší ako 15% hmotnostného podielu (zeminy triedy G1 – GW, G2 – GP, G3 – GF, S1 – SW, S2 – SP, S3 – SF), je šmyková pevnosť závislá iba od veľkosti uhla vnútorného trenia ( $\varphi > 0$ ) a normálového napätia  $\sigma$ , pričom súdržnosť je nulová ( $c = 0$ ). Pre uvedené sypké (nesúdržné) zeminy platí rovnica (3.2). Geometrická interpretácia čiary šmykovej pevnosti je na obr. 3.
- Pre ostatné triedy zemín platí rovnica (3.1) t.j. veľkosť šmykovej pevnosti závisí od veľkosti uhla vnútorného trenia ( $\varphi > 0$ ) a súdržnosti ( $c > 0$ ). Geometrická interpretácia čiary šmykovej pevnosti je na obr. 1.

- Pre prípad tzv. ideálne súdržného materiálu platí rovnica (3.3) t.j. veľkosť šmykovej pevnosti závisí iba od veľkosti súdržnosti ( $c > 0$ ) a uhol vnútorného trenia sa rovná nule ( $\varphi = 0$ ). Geometrická interpretácia čiary šmykovej pevnosti je na obr. 4. V prírodných zeminách nastáva takýto prípad iba vo vodou nasýtených plastických íloch (zeminy triedy F6 – CL, F6 – CI, F8 – CH, F8 – CV, F8 – CE), ak porušenie vzniká po rýchlom zaťažení bez možnosti konsolidácie, t.j. v neodvodnených podmienkach [2].

Veľkosť šmykovej pevnosti zeminy  $\tau_f$  (uhol vnútorného trenia  $\varphi$  a súdržnosť  $c$ ) vo významnej miere závisí od okrajových podmienok, pri ktorých bola šmyková pevnosť zisťovaná. Z hľadiska vplyvu okrajových podmienok rozlišujeme najmä faktory odvodnenia a konsolidácie zeminy [2].

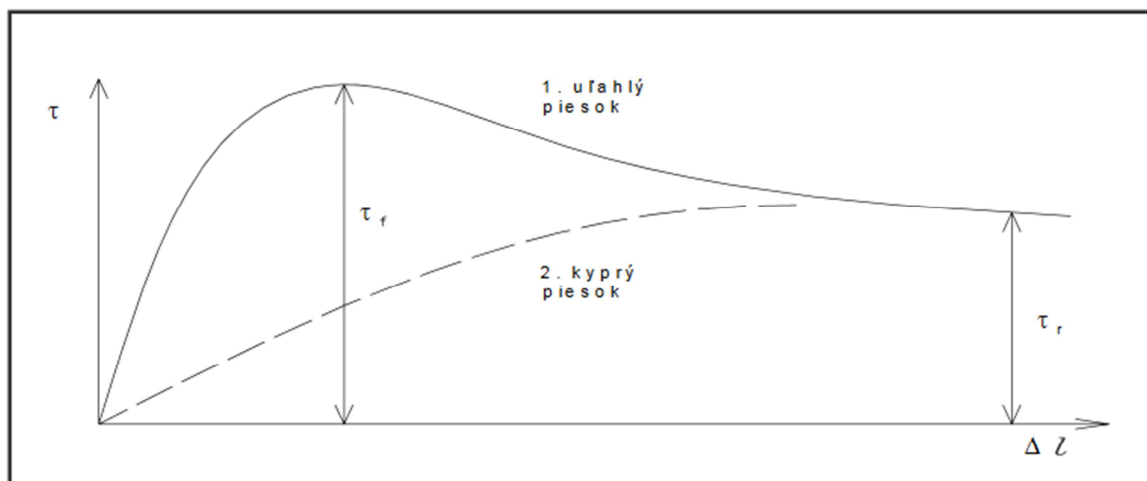


Obrázok 3 - Grafické zobrazenie čiary šmykovej pevnosti pre sypké zeminy



Obrázok 4 - Grafické zobrazenie čiary šmykovej pevnosti pre ideálne súdržný materiál

Za nesúdržné môžeme považovať zeminy, u ktorých sú väzby medzi jednotlivými zrnami zanedbateľné. Do tejto kategórie patria piesky, štrky, kamenité zeminy a taktiež aj hrubozrnné silty. Pretože priepustnosť týchto zemín je pomerne vysoká a zaťažovanie in situ obvykle prebieha za odvodnených podmienok, určujeme im prevažne efektívne parametre šmykovej pevnosti. Je však potrebné zdôrazniť, že ak sa v praxi vyskytne prípad s neodvodnenými podmienkami (zvodnené šošovky nakypreného piesku, najmä v náplavových oblastiach riek), ich šmyková pevnosť je veľmi nízka. Hodnoty šmykovej pevnosti nesúdržných zemín do značnej miery závisia od ich zrnitosti, tvaru zŕn a uľahlosti. Najviac badateľný rozdiel je medzi uľahlými a kyprými pieskami. Pri skúšaní v krabicovom šmykovom prístroji môžeme sledovať, že sa odpor uľahlého piesku prudko zväčšuje a po dosiahnutí vrcholovej pevnosti  $\tau_f$  sa zníži na pevnosť reziduálnu  $\tau_r$ . Naopak, u pieskov nakyprených sa odpor proti šmykaniu zväčšuje plynulo až sa ustáli na maximálnej hodnote, ktorá sa blíži k hodnote reziduálneho napätia uľahlých pieskov. Zvislé pomerné pretvorenie pri porušení  $\varepsilon_z$  dosahuje u uľahlých pieskov hodnoty 2 - 4 % a u pieskov nakyprených hodnoty 10 - 20 %. Počas skúšky je preto dôležité sledovať zvislú deformáciu vzorky, keď že dochádza k tzv. dilatancii. Dilatanciu môžeme chápať ako jav, pri ktorom dochádza k nadvihnutiu jednotlivých zŕn na šmykovej ploche, aby mohlo dôjsť ku ich vzájomnému kinematickému posunutiu. Tento jav potom spôsobuje dočasný pokles normálového napätia na šmykovej ploche. V pracovnom diagrame sa prejaví ako "hrb", ktorý zodpovedá hodnote vrcholovej šmykovej pevnosti. Dilatanciou sa zväčšuje šmyková pevnosť zeminy prácou posúvajúcej sily, vykonanej najviac proti pôsobeniu normálovej sily. Tento proces sa prejaví na vzraste tangenciálneho napätia o hodnotu potrebnú na prekonanie dilatantného efektu (jednotlivé zrná uľahlého piesku do seba najskôr zaklinené sa musia najskôr od seba oddialiť, aby mohol nastať ich následný preklz). V prípade kyprých pieskov však dochádza k inému efektu tzv. kontraktancii. Pri tomto procese sa v oblasti šmyku jednotlivé zrná navzájom posúvajú, čím sa šmyková plocha stáva uľahlejšou. Ak nemeríme šmykovú pevnosť pre malé normálové napätia, môžeme preložením priamky medzi nameranými bodmi získať hodnotu  $\tau_0$ , označovanú ako počiatočnú súdržnosť, ktorá sa pripisuje zaklinenosti zŕn[3].



Obrázok 5 - Závislosť šmykového odporu a pórovitosti pieskov na šmykovom posunutí

Tabuľka 2: Orientačné hodnoty uhla vnútorného trenia nesúdržných materiálov

Typ zeminy	Efektívne parametre šmykovej pevnosti		
	$\varphi_{ef}$ [°] pre kypré	$\varphi_{ef}$ [°] pre hutné	$c_{ef}$ [kPa]
Piesky prachovité	28 – 30	$\leq 38$	0
Piesky hrubozrnné, zaoblené	$< 35$	$< 40$	0
Piesky hrubozrnné, ostrohranné	$< 38$	$< 45$	0
Štrky piesčité	$< 38$	$< 42$	0
Skálna ostrohranná suť	$< 50$	$< 65$	0



## 4. Skúmanie zemín Vasiljevovým kužeľom

V tejto metóde sa na stanovenie vlhkosti na medzi tekutosti zeminy  $w_L$  používa kužeľ vyrobený z nerezovej ocele s hmotnosťou 60 g a vrcholovým uhlom  $60^\circ$  (60 g/ $60^\circ$ ), alebo kužeľ s hmotnosťou 80 g a vrcholovým uhlom  $30^\circ$  (80 g/ $30^\circ$ ). Týmto kužeľom sa penetruje pripravená vzorka zeminy. Zemina má vlhkosť na medzi tekutosti  $w_L$  ak v prípade použitia (60 g/ $60^\circ$ ) je hĺbka jeho penetrácie do zeminy 10 mm a v prípade použitia kužeľa (80 g/ $30^\circ$ ) je hĺbka penetrácie do zeminy 20 mm.

### 4.1. Laboratórne zariadenie a pomôcky

- kužeľový prístroj;
- miešacia nerezová, alebo plastová nádoba valcového tvaru priemeru viac ako 55 mm a hĺbky 30 mm pri použití kužeľa (60 g/ $60^\circ$ ), alebo hĺbky 40 mm pri použití kužeľa (80 g/ $30^\circ$ );
- teplovzdušná sušiareň s termostatom a teplomerom do  $120^\circ\text{C}$ ;
- laboratórne váhy s váživosťou do 500 g a presnosťou 0,01 g;
- sito s priemerom ôk 0,4 mm;
- potreby pre mechanické rozpojenie zeminy – trecia miska s tlčikom;
- gumová stierka;
- strúhadlo s otvormi 0,4 mm pre prípravu ílovitých zemín;
- porcelánová odparovacia miska;
- špachtľa, strička, destilovaná voda.

Kužeľový prístroj musí umožniť pevné držanie kužeľa a po jeho uvoľnení pád v zvislom smere do zeminy. Dodržanie predpísaného časového intervalu penetrácie (5 sekúnd) zabezpečuje automatické uvoľňovacie a zaisťovacie zariadenie kužeľa. Ďalej musí byť kužeľový prístroj vybavený zariadením na meranie hĺbky penetrácie kužeľa do skúšobnej vzorky po jeho uvoľnení s presnosťou  $\pm 0,1$  mm v rozsahu 5 – 30 mm. Najčastejšie sa na tento účel používajú indikátorové hodinky na meranie deformácie.

## 4.2. Postup skúšky

Na stanovenie medze tekutosti  $w_L$  je potrebná hmotnosť navážky zeminy v rozsahu 200 – 300 g preosiatej sitom s veľkosťou ôk 0,4 mm. V prípade ak jemnozrnná zemina obsahuje hrubozrnné frakcie je potrebné ich zo vzorku odstrániť. Uprednostňuje sa ručné odstránenie hrubozrnnnej frakcie, avšak tento spôsob je vo väčšine prípadov nerealizovateľný. Z tohto dôvodu sa používa preosievanie za mokra. Vzorka sa rozmieša v nádobe s destilovanou vodou na suspenziu, ktorá sa následne premyje cez sito s veľkosťou ôk 0,4 mm. Premývanú zeminu je potrebné zachytávať a po premytí nechať sedimentovať. Po sedimentácii sa zleje čistá odsedimentovaná voda a zo vzniknutej suspenzie sa vysúšaním na vzduchu, resp. v sušičke pri teplote do 50 °C pripraví tuhá pasta. Pripravená pasta by mala mať konzistenciu zodpovedajúcu približne penetrácií 7 mm pri použití kužela (60 g/60°), alebo 15 mm pri použití kužela (80 g/30°).

Pred použitím pripravenej pasty na kuželovú skúšku je nevyhnutné na získanie spoľahlivých výsledkov jej dôkladné premiešanie. Premiešanou zeminou sa plochým nožom naplní miešacia nádoba po okraj, aby skúšobná vzorka neobsahovala vzduchové bubliny. Prebytočná zemina sa odstráni plochým nožom. Uhladením povrchu zeminy sa vytvorí v nádobe hladký povrch. Penetračný kužel sa spustí tak, aby sa hrotom práve dotkol povrchu zeminy. Poloha kužela pripraveného na penetráciu v zaistenej pozícii sa stanoví indikátorovými hodinkami a zaznamenaná sa počiatkové nulové odčítanie s presnosťou 0, mm. Následne sa kužel uvoľní a ponechá sa v spustenej pozícii po dobu 5 sekúnd ( $\pm 1$  s). Uvoľnenie a následné zaistenie kužela zabezpečí automatické uvoľňovacie a zaistovacie elektronické zariadenie, ktoré tvorí príslušenstvo prístroja. Po zaistení kužela sa indikátorovými hodinkami stanoví hĺbka jeho penetrácie presnosťou 0,1 mm. Následne sa kužel vytiahne, očistí a miska so zeminou sa doplní a povrch sa zarovná. Pristúpi sa k opakovaniu penetrácie. Opakovanie penetrácie je potrebné vykonávať dovtedy, pokiaľ rozdiel medzi dvoma nasledujúcimi penetráciami nie je menšia ako 0,4 mm pri použití kužela (60 g/60°), alebo menší než 0,5 mm pri použití kužela (80 g/30°). Po splnení uvedených podmienok sa z penetračnej zóny kužela odoberie vzorka zeminy s hmotnosťou  $\pm 10$  g na stanovenie vlhkosti.

Uvedený postup skúšky je nevyhnutné opakovať minimálne trikrát s použitím rovnakej vzorky, avšak s inými vlhkosťami. Množstvo vody dodanej, resp. vysušenej má byť také, aby penetračný rozsah 7 – 15 mm pre kužel (60 g/60°) a penetračný rozsah 15 – 20 mm pre kužel

(80 g/30°) bol rovnomerne pokrytý aspoň štyrmi opakujúcimi sa testami. Vhodnejšie je realizovať skúšku od suchejšej zeminy po zeminu vlhkejšiu – pridávaním vody. Prijateľný je však aj opačný postup [4].

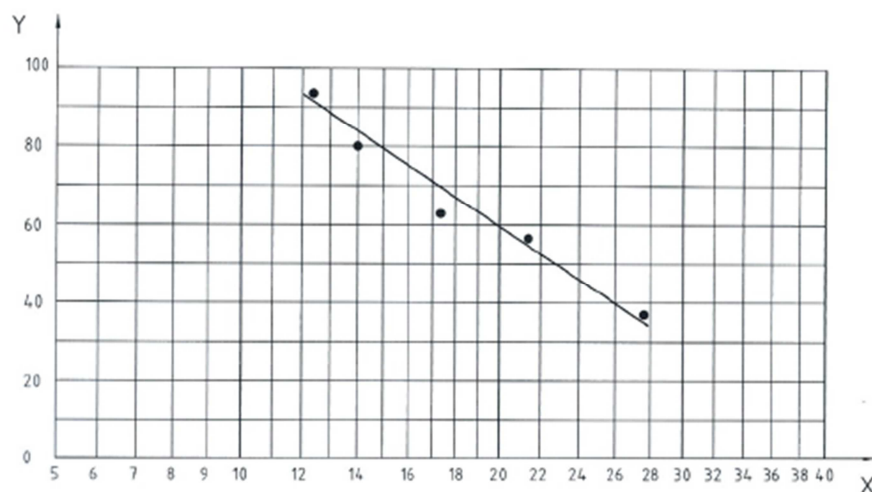


Obrázok 6 - Vasiljevov kužeľový prístroj pre stanovenie medze tekutosti (Foto autor)

### 4.3. Vyhodnotenie skúšky

Závislosť medzi vlhkosťou a príslušnou penetráciou kužeľa sa vynesie do semilogaritmického diagramu, kde na vodorovnú os vynášame vlhkosť zeminy vyjadrenú v percentách hmoty sušiny v lineárnej mierke a na zvislú os v logaritmickej mierke počet úderov. Získanými bodmi sa preloží priamka. Priesečník priamky s horizontálou zodpovedajúcou penetrácií 10 mm pri použití kužeľa (60 g/60°), resp. penetrácií 20 mm pri použití kužeľa (80 g/30°) vymedzí na vodorovnej osi grafu vlhkosť na medzi tekutosti  $w_L$ . Pri použití kužeľa (80 g/30°) môže mať graf lineárnu mierku nielen pre vlhkosť, ale aj pre penetráciu kužeľa.

Výsledky skúšok stanovenia vlhkosti na medzi tekutosti  $w_L$  Casagrandeho metódou môžu byť subjektívne ovplyvnené osobným prístupom laboranta. Kužeľová skúška tieto nepriaznivé vplyvy vo výraznej miere eliminuje.



**Legenda:**    osa X            penetrace kužele v logaritmicke[m] [mm]  
                  osa Y            vlhkost [%]

Obrázok 7 - Príklad protokolu

## **5. Návrh aplikácie skúšky Vasiljevovým kužel'om ku skúmaniu nesúdržných zemín**

K skúmaniu nesúdržných zemín sa používajú najčastejšie metódy in – situ, pretože je veľmi obtiažné získať neporušenú vzorku. Tieto metódy nám poskytujú informácie o vlastnostiach zemín ako je napr. hustota, pevnosť, konsolidácia. Najčastejšou metódou je štandardný penetračný test. Je to test dynamickej penetrácie in – situ navrhnutý tak, aby nám poskytol geotechnické informácie o vlastnosti pôdy. Postup spočíva v zarážaní hrubostennej rúry s vonkajším priemerom 50,8 mm a vnútorným priemerom 35,0 mm. Táto rúra ma dĺžku približne 650 mm a je zarážaná do zeme pomocou kladiva s hmotnosťou 63,5 kg. Kladivo padá z výšky 760 mm. Rúra je zarážaná po 150 mm do zeme a zaznamenáva sa počet úderov potrebných na preniknutie každých 150 mm až do hĺbky 450 mm. Pokiaľ nestačí 50 úderov na preniknutie 150 mm, tak sa zaznamená hĺbka penetrácie po 50 úderoch.

Vasiljevov kužel' má podobný princíp ako táto metóda, ale je to laboratórna skúška. Kužel' sa nastaví, aby sa hrotom dotýkal zeminy a potom sa spustí a odčíta sa hĺbka penetrácie. Týmto spôsobom by som chcel vyskúšať aplikovať Vasiljevov kužel' k skúmaniu vlastností nesúdržných zemín a zistiť či budú vznikať nejaké závislosti.

## 6. Skúmanie zemín čel'ust'ovou (krabicovou) skúškou

Jedným zo spôsobov určovania parametrov šmykovej pevnosti zeminy je skúška v krabicovom šmykovom prístroji, ktorá je podrobne popísaná v STN 72 1030.

### 6.1. Princíp skúšky

Princíp skúšky spočíva v tom, že sa vzorka zaťaží konštantným normálovým napätím a po jej konsolidácii na ňu aplikujeme plynulo narastajúce šmykové zaťaženie pri konštantnej rýchlosti šmykového posunutia až do dosiahnutia jeho stanovenej hodnoty. Rozhodujúcimi podmienkami skúšky sú doba konsolidácie a rýchlosť šmykového posunu. Musia byť prispôbosené výške vzorky a vlastnostiam skúšanej zeminy takým spôsobom, aby tlak vody v póroch zeminy neovplyvňoval prostredníctvom normálového napätia meraný odpor proti ušmyknutiu po dobu celého procesu šmýkania.

Skúšobné vzorky môžu mať prierez kruhový alebo štvorcový, pričom za štandardnú sa považuje vzorka kruhového prierezu o priemere 100 mm. Výška vzorky by nemala byť vyššia ako 0,25 - násobok jej priečneho rozmeru a po konsolidácii nesmie byť menšia ako 0,10 - násobok jej výšky. Skúšobné vzorky nesmú obsahovať neprípustne hrubé zrná, za ktoré sa považujú častice veľkosti 10 % výšky vzorky a väčšie. Pre skúšku vrcholovej pevnosti je potrebné testovať najmenej 4 skúšobné vzorky rovnakých fyzikálnych vlastností. Každdej vzorke je potrebné určiť vlhkosť a počiatočnú objemovú hmotnosť. Tieto hodnoty by mali byť zachované počas testovania všetkých vzoriek. Z krabicovej šmykovej skúšky dostávame potom parametre vrcholovej šmykovej pevnosti zeminy:

$\varphi_{ef}$  – efektívny uhol vrcholovej šmykovej pevnosti,

$c_{ef}$  – efektívnu súdržnosť,

a reziduálnej šmykovej pevnosti zeminy:

$\varphi_r$  – efektívny uhol reziduálnej šmykovej pevnosti,

$c_r$  – efektívnu reziduálnu súdržnosť.

Hodnoty normálových napätí sa volia podľa toho, pre aké rozmedzie normálových napätí je potrebné šmykovú pevnosť zistiť. Po zaťažení vzorky nasleduje konsolidácia, ktorej minimálna doba sa vypočíta zo vzťahu [3]:

$$t = \frac{2H^2}{c_v} \quad [\text{hod}] \quad (6.1)$$

$H$  – najdlhšia drenážna dráha, ktorá sa pri obojstrannej drenáži skúšobnej vzorky rovná polovici jej výšky [mm],

$c_v$  – súčiniteľ konsolidácie [ $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ]

Ak nepoznáme súčiniteľ konsolidácie, môžeme ju považovať za ukončenú po uplynutí doby  $t$  v hodinách, podľa tabuľky č. 3 (STN 72 1030).

Tabuľka 3: Minimálna doba konsolidácie podľa STN 72 1030

Druh zeminy	Min. doba konsolidácie $t$ [hod]
Piesky, hlinité piesky	$0.005 \cdot H^2$
Hliny, piesčité hlíny, prachovité hlíny	$0.01 \cdot H^2$
Ílovité hlíny a íly s nižšou medzou tekutosti $\omega_l < 50\%$	$0.02 \cdot H^2$
Íly s vyššou medzou tekutosti $\omega_l > 50\%$	$0.06 \cdot H^2$

Po ukončení konsolidácie začneme vzorku zaťažovať šmykovou silou. Za štandardné sa považuje spôsob zaťažovania stálou rýchlosťou šmykového posunu, ktorá sa vypočíta podľa vzťahu:

$$v = \frac{l_f}{t_f} \quad [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (6.2)$$

$l_f$  – šmykové posunutie pri dosiahnutí najvyššej hodnoty  $\tau = \tau_{\max}$  [mm],

$t_f$  – doba potrebná k dosiahnutiu najvyššej hodnoty  $\tau = \tau_{\max}$  [min].

$$t_f = \frac{10H^2}{c_v}$$

Ak však nie je známy súčiniteľ konsolidácie, môžeme použiť rýchlosť šmykového posunutia podľa tabuľky č. 4 (STN 72 1030).

Tabuľka 4: Rýchlosť šmykového posunutia podľa STN 72 1030

Druh zeminy	Rýchlosť šmykového posunutia [mm.min <sup>-1</sup> ]
Piesky, hlinité piesky	0,250
Hliny, piesčité hlíny, prachovité hlíny	0,050
Ílovité hlíny a íly s nižšou medzou tekutosti $\omega_l < 50\%$	0,010
Íly s vyššou medzou tekutosti $\omega_l > 50\%$	0,002

Odporúčané hodnoty rýchlostí však platia len pre výšku vzorky do 12 mm. Pri vyšších vzorkách je potrebné preukázať, že pórový tlak neovplyvňuje najvyššie hodnoty šmykového napätia. Počas skúšok pri jednotlivých normálových zaťaženiach zaznamenávame veľkosť šmykovej sily a hodnoty zvislých deformácií tak, aby bolo možné vyhodnotiť maximálnu hodnotu šmykového napätia pri zodpovedajúcom šmykovom posunutí. Minimálna hodnota šmykového posunu by mala dosiahnuť 10 % priečného rozmeru krabice. Skúška reziduálnej šmykovej pevnosti sa vykonáva najmenej na troch rôznych normálových napätiach. Môžeme ju vykonať buď na neporušenej vzorke, ktorej umelo vytvoríme šmykovú plochu pomocou oceľovej struny, alebo na vzorke, ktorej sme predtým určovali vrcholovú šmykovú pevnosť. Vzorku potom zaťažujeme šmykovou silou, pričom najvyššia dovolená rýchlosť posunu je 0,05 mm.min<sup>-1</sup>.

## 6.2. Vyhodnotenie skúšky :

Hodnotu normálového efektívneho napätia vypočítame podľa vzťahu :

$$\sigma_{\text{ef}} = \frac{N}{A} \quad [\text{KNm}^{-2}] \quad (6.3)$$

N – normálová sila [KN],

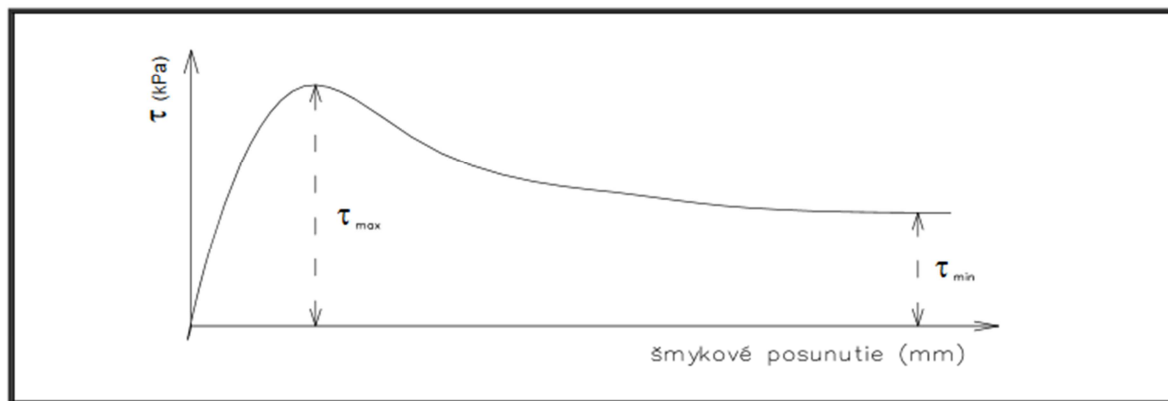
A – prierezová plocha skúšobnej vzorky [m<sup>2</sup>].

Šmykové napätie v ľubovoľnom okamihu šmýkania vypočítame podľa vzorca:

$$\tau = \frac{T}{A} \quad [\text{KPa}] \quad (6.4)$$



T – šmyková sila [kN].



Obrázok 8- Pracovný diagram krabicovej šmykovej skúšky

## 7. Vykonanie merania na vzorkách

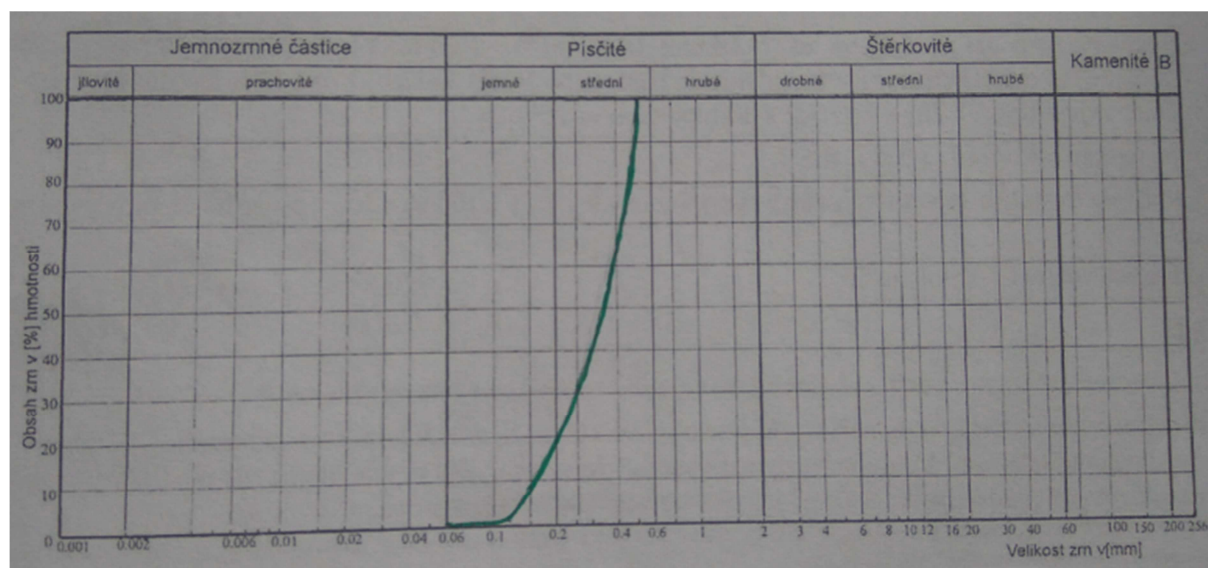
Všetky laboratórne skúšky boli prevádzané na kremennom piesku. Je to nesúdržná zemina ktorá sa používa na zásyp zámkovej dlažby. Na tejto nesúdržnej zemine sme urobili sitový rozbor. Použili sme sitá s priemerom ôk 0,063; 0,125; 0,250 a 0,5 mm (obr. 9). Preosievanie cez sita sme robili ručne, aby sme dosiahli čo najpresnejšie výsledky (obr. 10). Preosievali sme vzorku o hmotnosti 0,78 kg. Po preosiatí sme zvážili hmotnosť vzorky na jednotlivých sitách. Z týchto údajov sme zostavili krivku zrnitosti (obr. 11), ktorá nám znázorňuje granulometrické zloženie zeminy.



Obrázok 9 - Sitá na preosievanie (Foto autor)



Obrázok 10 - Ručné preosievanie (Foto autor)



Obrázok 11 - Krivka zrnitosti (Foto autor)

Tabuľka 5: Percentuálny zostatok na jednotlivých sitách

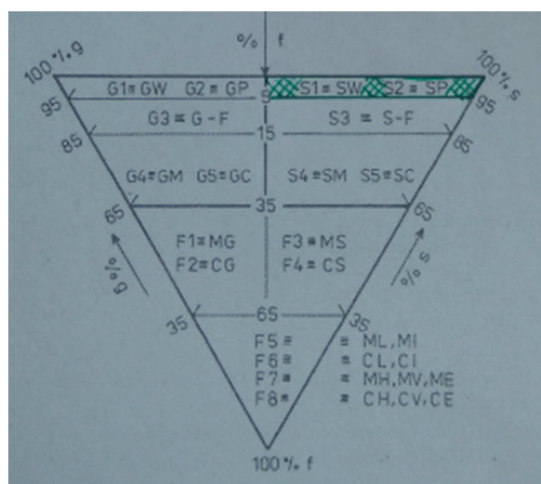
Veľkosť ôk [mm]	zostatok na site [g]	zostatok na site [%]
0,5	532,64	68,53
0,25	231,34	29,76
0,125	8,96	1,15
0,063	3,39	0,44
prepad	0,93	0,12
$\Sigma$	777,26	100

## 7.1. Zatriedenie zeminy

Podľa ČSN 73 6133

Zatriedenie bolo prevedené pomocou trojuholníkového diagramu (obr. 12). Vzorka zeminy obsahuje 0,12 % jemnozrnej frakcie ( $< 0,063$  mm) a 99,88% piesku. Podľa sitového rozboru sme zistili, že obsah častíc piesku ( $0,063 - 0,125$  mm) je 0,44% , ( $0,125 - 0,25$  mm) je 1,15% , ( $0,25 - 0,5$  mm) je 29,76% a ( $> 0,5$  mm) je 68,53%.

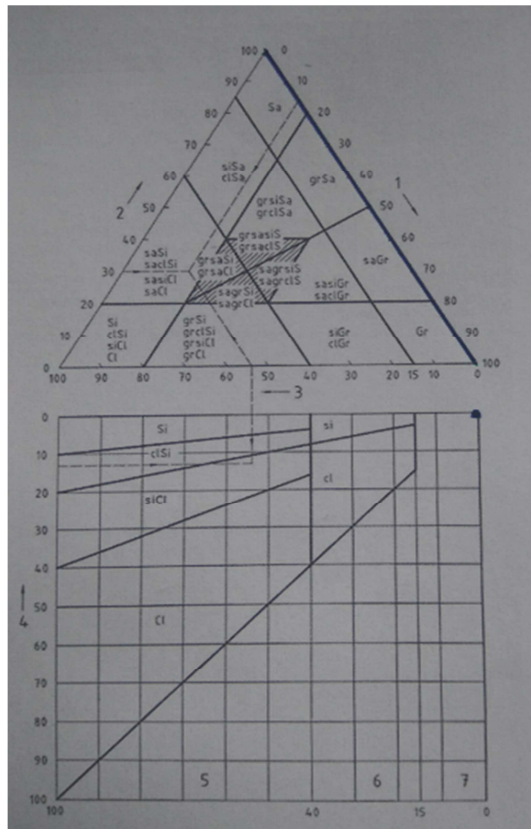
Hodnota čísla nerovnozrnnosti  $C_u$  je 2,38 a čísla krivosti  $C_c$  je 0,95. Pomocou týchto hodnôt sme určili, že sa jedná o piesok zlé zrný ( $S_2 = SP$ ).



Obrázok 12 - Trojuholníkový diagram (Foto autor)

Podľa EN 14 688

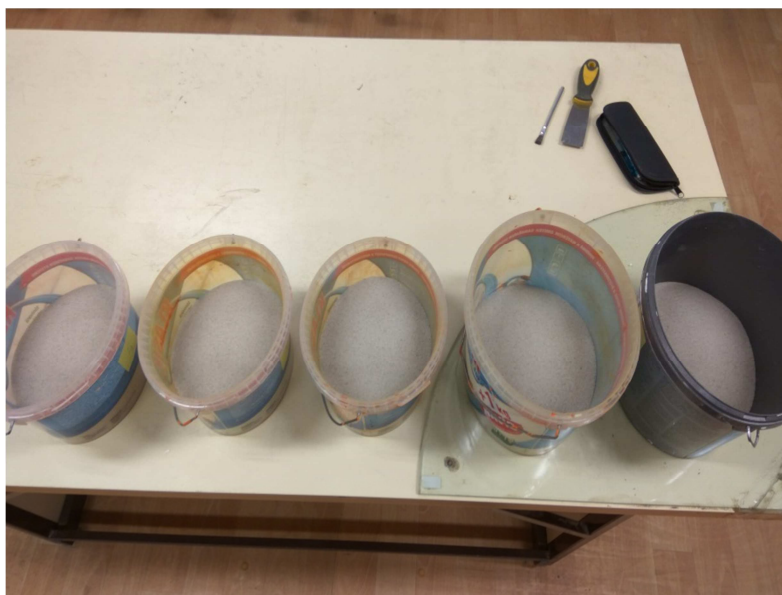
Zatried'ovanie bolo prevedené podľa trojuholníkového a štvorcového diagramu. Na strany trojuholníkového diagramu je nanesený percentuálny podiel piesku a jemnozrnnej frakcie. Jemnozrná frakcia sa preniesie do štvorcového diagramu a na zvislej osi diagramu sa nanesie množstvo ílovitých častíc. Podľa tohto diagramu bolo zistené, že sa jedná o piesok (Sa).



Obrázok 13 - Trojuholníkový a štvorcový diagram (Foto autor)

## 7.2. Príprava vzorku

Pripravili sme si päť vzoriek do plastových nádob. Každá nádoba obsahovala 2,6 kg sypkej nesúdržnej zeminy (obr. 14). Vypočítali sme si množstvo vody, ktoré treba vliať do vzorky, aby sme dostali požadovanú vlhkosť (obr. 15). Pracovali sme so vzorkami s vlhkosťou 0%, 6%, 12,5%, 18% a 22,7% (100% saturovaná) (obr. 16).



Obrázok 14 - Príprava vzorku (Foto autor)



Obrázok 15 - Prilievanie vody do vzorky (Foto autor)





Obrázok 16 - Vzorky určitých vlhkostí (Foto autor)

Pripravené vzorky sme merali Vasiljevovým kužeľom. Vzorku sme naplnili do misky. Povrch sme zarovnali s okrajom misky pomocou laboratórneho noža. Misku sme vložili pod penetračný kužeľ. Penetračný kužeľ sme museli nastaviť tak, aby sa hrot dotýkal vzorku (obr. 17). Po nastavení penetračného kužeľa sme previedli počiatkové odčítanie s indikátorových hodínok (obr. 18). Následne sme kužeľ uvoľnili a nechali v spustenej pozícii po dobu 5 sekúnd ( $\pm 1$  sekunda). Urobili sme druhé odčítanie (obr. 19). Rozdiel medzi druhým odčítaním a počiatkovým odčítaním je hĺbka penetrácie. Kužeľ sa následne vytiahne a jemne očistí.



Obrázok 17 - Nastavenie kužeľa (Foto autor)



Obrázok 18 - Prvé odčítanie (Foto autor)



Obrázok 19 - Druhé odčítanie (Foto autor)

Po poslednom meraní sa vzorka vloží do sušičky. Sušička sa zapne na  $60^{\circ}$  (nádoby sú z umelej hmoty) po dobu 48 hodín (obr. 20). Po vysušení sa zväžia a vypočíta sa ich vlhkosť.



Obrázok 20 - Vzorky v sušičke (Foto autor)

Po meraní vlhkosti a penetrácie pomocou Vasiljevovho kužela som začal merať na čelust'ovom prístroji (obr. 21).



Obrázok 21 - Čelust'ový (krabicový) prístroj (Foto autor)

Šmyková krabica sa skladá z dvoch častí (obr. 22). Spodná časť je pevne uchytená pomocou šróbov a horná časť je pohyblivá. Obidve časti sú spojené pomocou odnímateľných kovových kolíkov prechádzajúcich cez ne, aby sa nám čeluste neposunuli pred meraním.



Obrázok 22 - Spodná a vrchná časť šmykovej krabice (Foto autor)

Rozmery šmykovej krabice sú 100 mm x 100 mm a výška vzorku je 20 mm. Do šmykovej krabice som vložil vzorku medzi porézne doštičky (obr. 23).





Obrázok 23 - Vzorka v šmykovej krabici (Foto autor)

Nastavil som rám na vyvodenie normálového zaťaženia (obr. 24). Vzorka bola zaťažovaná 50 kPa, 100 kPa a 200 kPa (obr. 25).

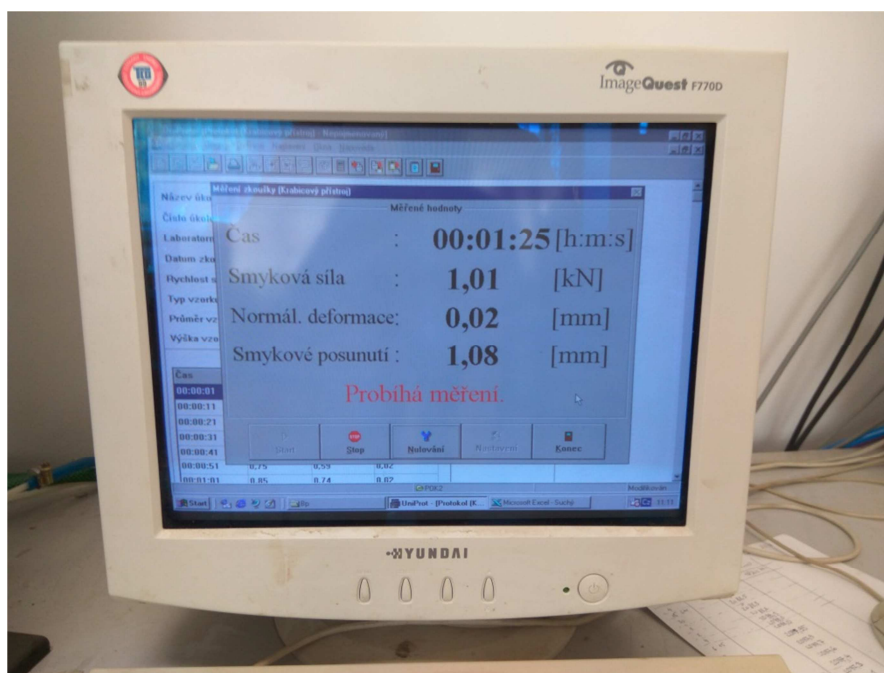


Obrázok 24 - Nastavený rám na vyvodenie normálového napätia (Foto autor)



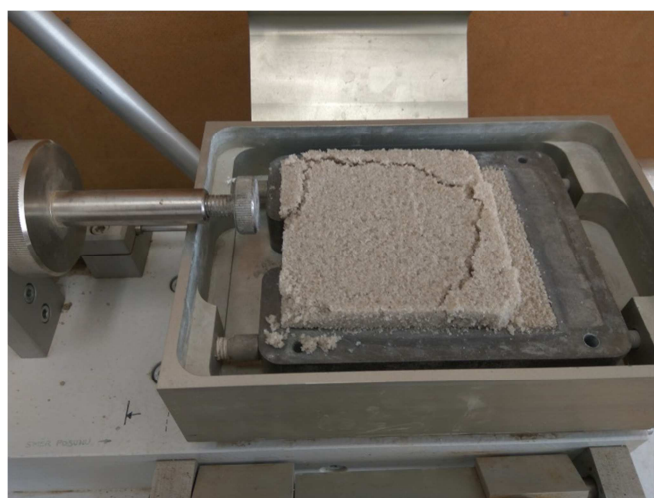
Obrázok 25 - Závažie 200 kPa (Foto autor)

Po vložení prvej záťaže sa čaká na konsolidáciu. Po konsolidácii sa odoberú kovové kolíky spojujúce obe časti šmykovej krabici. Po spustení merania sú zaznamenávané hodnoty normálových deformácií a šmykovej sily potrebnej na ušmyknutie vzorku (obr. 26).



Obrázok 26 - Zaznamenávanie údajov (Foto autor)

Rýchlosť šmykového posunutia je nastavená na 1mm/sek. Každá skúška sa prevádza až do ušmyknutia vzorku (obr. 27). Zaznamenané hodnoty sú uvedené v prílohe.

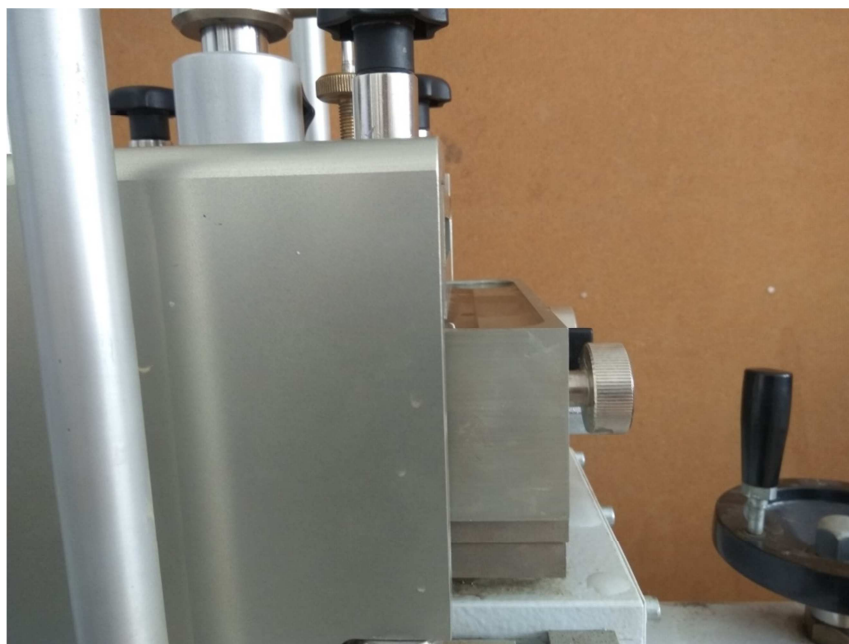


Obrázok 27 - Ušmyknutie vzorku (Foto autor)

Na každej vzorke sa robili tri merania. Prvé meranie sa robilo so záťažou 50 kPa druhé so záťažou 100 kPa a tretie s 200 kPa. Z týchto zaznamenaných hodnôt sa zostavili grafy z ktorých sme zistili uhol vnútorného trenia a súdržnosť vzoriek. Pri 100% saturovanej zemine sme vzorku, ktorá je umiestnená v čeľustiach zaliali vodou (obr. 28, 29).



Obrázok 28 - Zalievanie vzorky okolo čeľusti (Foto autor)



Obrázok 29 - Zaliata vzorka (Foto autor)

## 8. Vyhodnotenie výsledkov meraní

### 8.1. Závislosť zaborenia na vlhkosti

Každá vzorka má určitú vlhkosť. Pomocou výpočtov sme zistili, že vzorky majú skoro rovnakú pórovitosť a aj číslo pórovitosti.

$$V_s = \frac{m_s}{\rho_s} \quad [\text{cm}^3] \quad (8.1)$$

$V_s$  – Objem pevných častíc v zemine [ $\text{cm}^3$ ]

$m_s$  – hmotnosť pevných častíc v zemine [g]

$\rho_s$  - hustota pevných častíc zeminy [ $\text{g.cm}^{-3}$ ]

Vzorka č. 1 – vlhkosť 0,00 %

$$V_s = \frac{m_s}{\rho_s} = \frac{402,54}{2,65} = 151,90 \text{ cm}^3$$

$$V_p = V - V_s = 310 - 151,90 = 158,1 \text{ cm}^3$$

$$n = \frac{V - V_s}{V} \cdot 100 = \frac{310 - 151,90}{310} \cdot 100 = 51,00 \%$$

$$e = \frac{V_p}{V_s} = \frac{158,1}{151,9} = 1,04$$

Vzorka č. 2 – vlhkosť 12,68 %

$$V_s = \frac{m_s}{\rho_s} = \frac{388,23}{2,65} = 146,50 \text{ cm}^3$$

$$V_p = V - V_s = 310 - 146,50 = 163,50 \text{ cm}^3$$

$$n = \frac{V - V_s}{V} \cdot 100 = \frac{310 - 146,50}{310} \cdot 100 = 52,74 \%$$

$$e = \frac{V_p}{V_s} = \frac{163,50}{146,50} = 1,12$$

Vzorka č. 3 – vlhkosť 23,67 %

$$V_s = \frac{m_s}{\rho_s} = \frac{452,99}{2,65} = 170,94 \text{ cm}^3$$

$$V_p = V - V_s = 310 - 170,94 = 139,06 \text{ cm}^3$$

$$n = \frac{V - V_s}{V} \cdot 100 = \frac{310 - 170,94}{310} \cdot 100 = 44,86 \%$$

$$e = \frac{V_p}{V_s} = \frac{139,06}{170,94} = 0,81$$

Vzorka č. 4 – vlhkosť 4,67 %

$$V_s = \frac{m_s}{\rho_s} = \frac{389,85}{2,65} = 147,11 \text{ cm}^3$$

$$V_p = V - V_s = 310 - 147,11 = 162,89 \text{ cm}^3$$

$$n = \frac{V - V_s}{V} \cdot 100 = \frac{310 - 147,11}{310} \cdot 100 = 52,54 \%$$

$$e = \frac{V_p}{V_s} = \frac{162,89}{147,11} = 1,11$$

Vzorka č. 5 – vlhkosť 17,33 %

$$V_s = \frac{m_s}{\rho_s} = \frac{401,36}{2,65} = 151,46 \text{ cm}^3$$

$$V_p = V - V_s = 310 - 151,46 = 158,54 \text{ cm}^3$$

$$n = \frac{V - V_s}{V} \cdot 100 = \frac{310 - 151,46}{310} \cdot 100 = 51,14 \%$$

$$e = \frac{V_p}{V_s} = \frac{158,54}{151,46} = 1,05$$

Tabuľka 6: Výpočet pórovitosti a čísla pórovitosti

vlhkosť vzorkov [%]	0,00%	4,67%	12,68%	17,33%	23,67%
hmotnosť vzorku [g]	402,54	389,85	388,23	401,36	452,99
objem nádoby [cm <sup>3</sup> ]	310,00	310,00	310,00	310,00	310,00
V <sub>s</sub> [cm <sup>3</sup> ]	151,90	147,11	146,50	151,46	170,94
V <sub>p</sub> [cm <sup>3</sup> ]	158,10	162,89	163,50	158,54	139,06
n [%]	51,00	52,54	52,74	51,14	44,86
e [-]	1,04	1,11	1,12	1,05	0,81

## 8.2. Vzorka č. 1

Tabuľka 7: Výpočet vlhkosti

hmotnosť prázdnej misky	10,36	g
hmotnosť vlhkého vzorku s miskou	412,90	g
hmotnosť vysušeného vzorku s miskou	412,90	g
hmotnosť vlhkého vzorku bez misky	402,54	g
hmotnosť vysušeného vzorku bez misky	402,54	g
hmotnosť vody vo vzorku	0,00	g
w	0,00	%

Tabuľka 8: Hĺbka zaborenia kužeľa

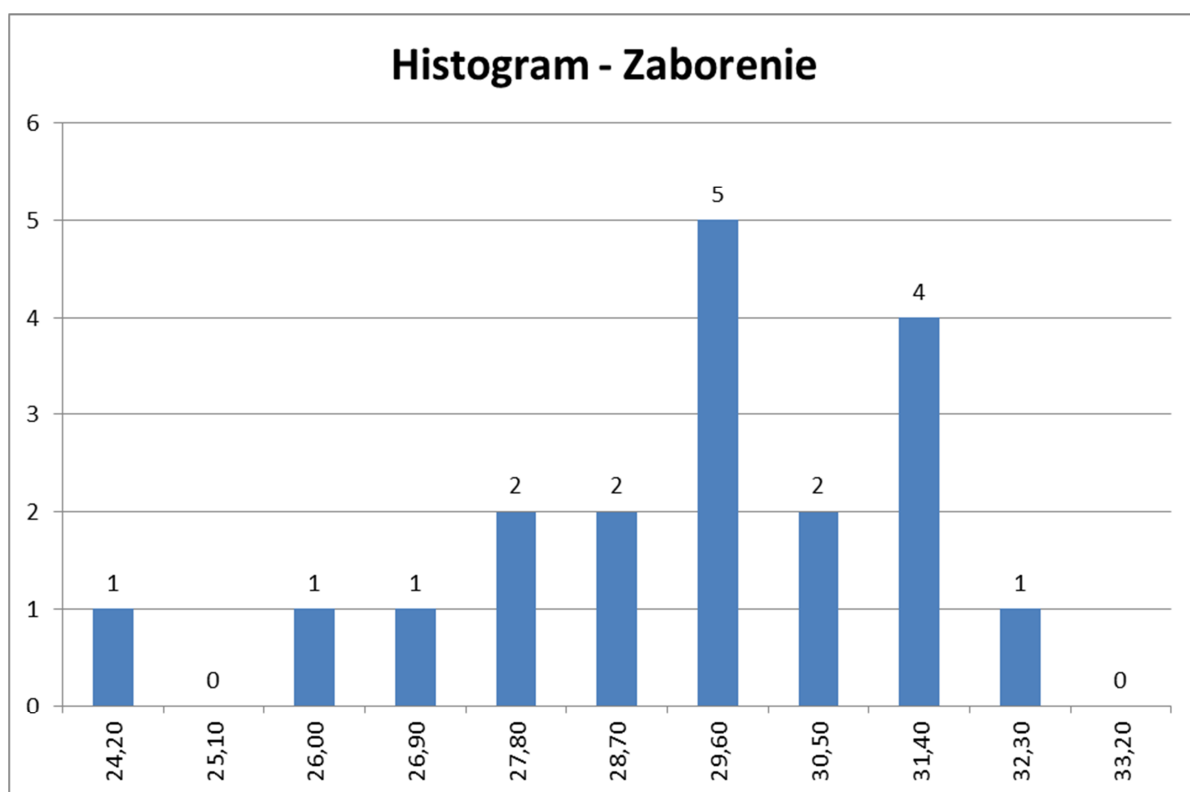
číslo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
prvé odčítanie	1,0	1,5	1,6	1,5	1,9	1,7	2,0	2,5	2,0	2,0
druhé odčítanie	34,2	33,1	32,1	30,8	26,1	30,6	30,8	31,9	32,6	30,3
zaborenie	33,2	31,6	30,5	29,3	24,2	28,9	28,8	29,4	30,6	28,3

číslo	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
prvé odčítanie	1,7	2,5	2,4	2,4	2,2	2,0	2,4	2,1	2,0	2,1
druhé odčítanie	31,2	30,8	33,0	32,0	29,4	32,5	32,2	29,5	28,0	28,8
zaborenie	29,5	28,3	30,6	29,6	27,2	30,5	29,8	27,4	26,0	26,7

Počet zaborení je 20. Najnižšia hodnota zaborenia je 24,2 mm a najvyššia hodnota je 33,2 mm. Do pravdepodobnosti intervalu spoľahlivosti (95%) patria čísla od 28,1 mm po 30,0 mm. Priemerná hodnota je 29,02 mm a stredná hodnota je 29,35 mm.

Tabuľka 9: Údaje o zaborení

Zaborenie	
Počet vzoriek	20
Min	24,2
Max	33,2
Rozsah	9
Priemerná hodnota	29,02
Median	29,35
Priemerná odchýlka	1,538
Variácia	3,9836
Štandardná odchýlka	1,99589579
Koeficient variácií	6,87765606
Pravdepodobnosť intervalu spoľahlivosti P [95%]	28,1 - 30,



Obrázok 30 - Histogram vzorky č. 1

### 8.3. Vzorka č. 2

Tabuľka 10: Výpočet vlhkosti

hmotnosť prázdnej misky	10,12	g
hmotnosť vlhkého vzorku s miskou	447,56	g
hmotnosť vysušeného vzorku s miskou	398,35	g
hmotnosť vlhkého vzorku bez misky	437,44	g
hmotnosť vysušeného vzorku bez misky	388,23	g
hmotnosť vody vo vzorku	49,21	g
w=	12,68	%

Tabuľka 11: Hĺbka zaborenia kužeľa

číslo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
prvé odčítanie	3,2	2,8	3,4	3,0	3,1	4,2	4,0	3,9	1,6	2,0
druhé odčítanie	29,1	25,6	28,1	30,1	30,1	34,5	34,6	26,2	26,0	31,0
zaborenie	25,9	22,8	24,7	27,1	27,0	30,3	30,6	22,3	24,4	29,0

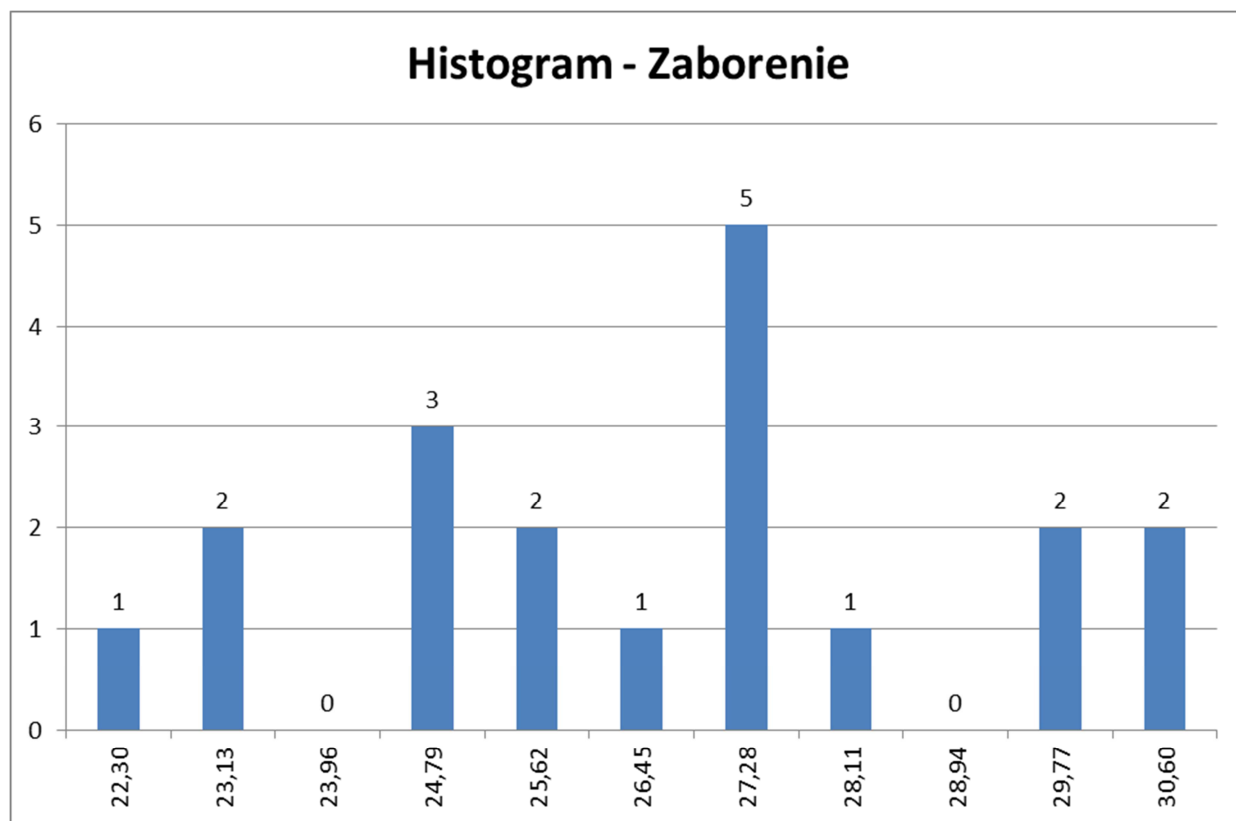
  

číslo	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
prvé odčítanie	1,9	2,3	2,2	2,4	2,5	3,2	3,1	3,8	2,6	2,2
druhé odčítanie	26,7	30,4	32,3	25,5	31,9	29,8	27,3	29,2	29,5	29,3
zaborenie	24,8	28,1	30,1	23,1	29,4	26,6	24,2	25,4	26,9	27,1

Počet zaborení je 20. Najnižšia hodnota zaborenia je 22,3 mm a najvyššia hodnota je 30,6 mm. Do pravdepodobnosti intervalu spoľahlivosti (95%) patria čísla od 25,3 mm po 27,7 mm. Priemerná hodnota je 26,49 mm a stredná hodnota je 26,75 mm.

Tabuľka 12: Údaje o zaborení

Zaborenie	
Počet vzoriek	20
Min	22,3
Max	30,6
Rozsah	8,3
Priemerná hodnota	26,49
Median	26,75
Priemerná odchýlka	2,081
Variácia	6,1429
Štandardná odchýlka	2,47848744
Koeficient variácií	9,35631348
Pravdepodobnosť intervalu spoľahlivosti P [95%]	25,3 - 27,7



Obrázok 31 - Histogram vzorky č. 2



## 8.4. Vzorka č. 3

Tabuľka 13: Výpočet vlhkosti

hmotnosť prázdnej misky	10,10	g
hmotnosť vlhkého vzorku s miskou	570,32	g
hmotnosť vysušeného vzorku s miskou	463,09	g
hmotnosť vlhkého vzorku bez misky	560,22	g
hmotnosť vysušeného vzorku bez misky	452,99	g
hmotnosť vody vo vzorku	107,23	g
w=	23,67	%

Tabuľka 14: Hĺbka zaborenia kužeľa

číslo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
prvé odčítanie	2,6	2,9	3,1	3,1	1,3	2,2	2,2	2,0	1,5	1,5
druhé odčítanie	28,0	26,1	20,9	25,3	29,8	31,1	26,0	24,0	23,8	26,4
zaborenie	25,4	23,2	17,8	22,2	28,5	28,9	23,8	22,0	22,3	24,9

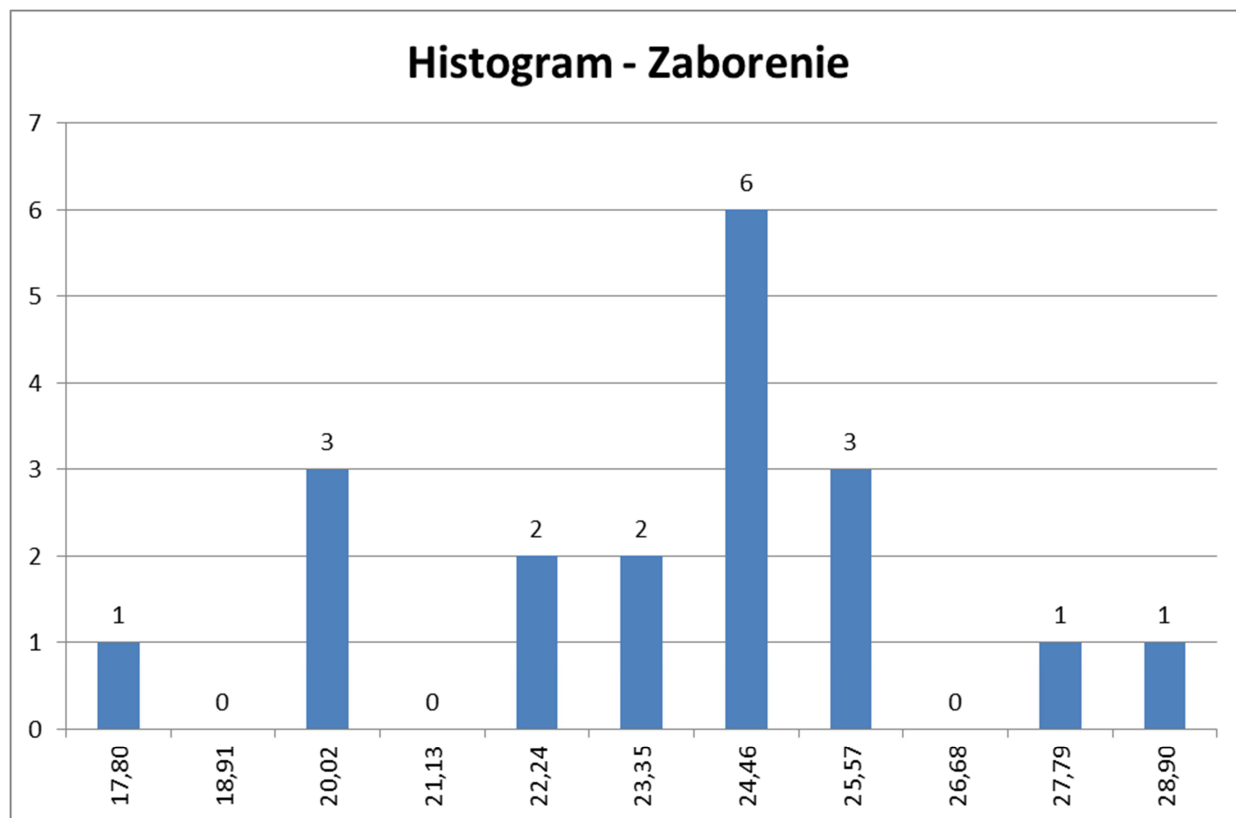
  

číslo	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
prvé odčítanie	1,8	1,4	1,4	1,0	1,7	2,0	1,6	1,0	2,2	1,9
druhé odčítanie	26,2	25,2	26,0	27,8	21,5	21,6	20,9	25,4	26,6	25,6
zaborenie	24,4	23,8	24,6	26,8	19,8	19,6	19,3	24,4	24,4	23,7

Počet zaborení je 20. Najnižšia hodnota zaborenia je 17,8 mm a najvyššia hodnota je 28,9 mm. Do pravdepodobnosti intervalu spoľahlivosti (95%) patria čísla od 22,2 mm po 24,8 mm. Priemerná hodnota je 23,49 mm a stredná hodnota je 23,8 mm.

Tabuľka 15: Údaje o zaborení

Zaborenie	
Počet vzoriek	20
Min	17,8
Max	28,9
Rozsah	11,1
Priemerná hodnota	23,49
Median	23,8
Priemerná odchýlka	2,172
Variácia	7,9489
Štandardná odchýlka	2,81937936
Koeficient variácií	12,0024664
Pravdepodobnosť intervalu spoľahlivosti P [95%]	22,2 - 24,8



Obrázok 32 - Histogram vzorky č. 3

## 8.5. Vzorka č. 4

Tabuľka 16: Výpočet vlhkosti

hmotnosť prázdnej misky	10,23	g
hmotnosť vlhkého vzorku s miskou	418,28	g
hmotnosť vysušeného vzorku s miskou	400,08	g
hmotnosť vlhkého vzorku bez misky	408,05	g
hmotnosť vysušeného vzorku bez misky	389,85	g
hmotnosť vody vo vzorku	18,20	g
w=	4,67	%

Tabuľka 17: Hĺbka zaborenia kužľa

číslo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
prvé odčítanie	3,3	2,7	3,4	2,6	3,1	3,1	2,9	3,4	2,6	3,3
druhé odčítanie	35,4	33,9	33,4	29,0	33,0	31,6	29,1	29,1	33,2	35,4
zaborenie	32,1	31,2	30,0	26,4	29,9	28,5	26,2	25,7	30,6	32,1

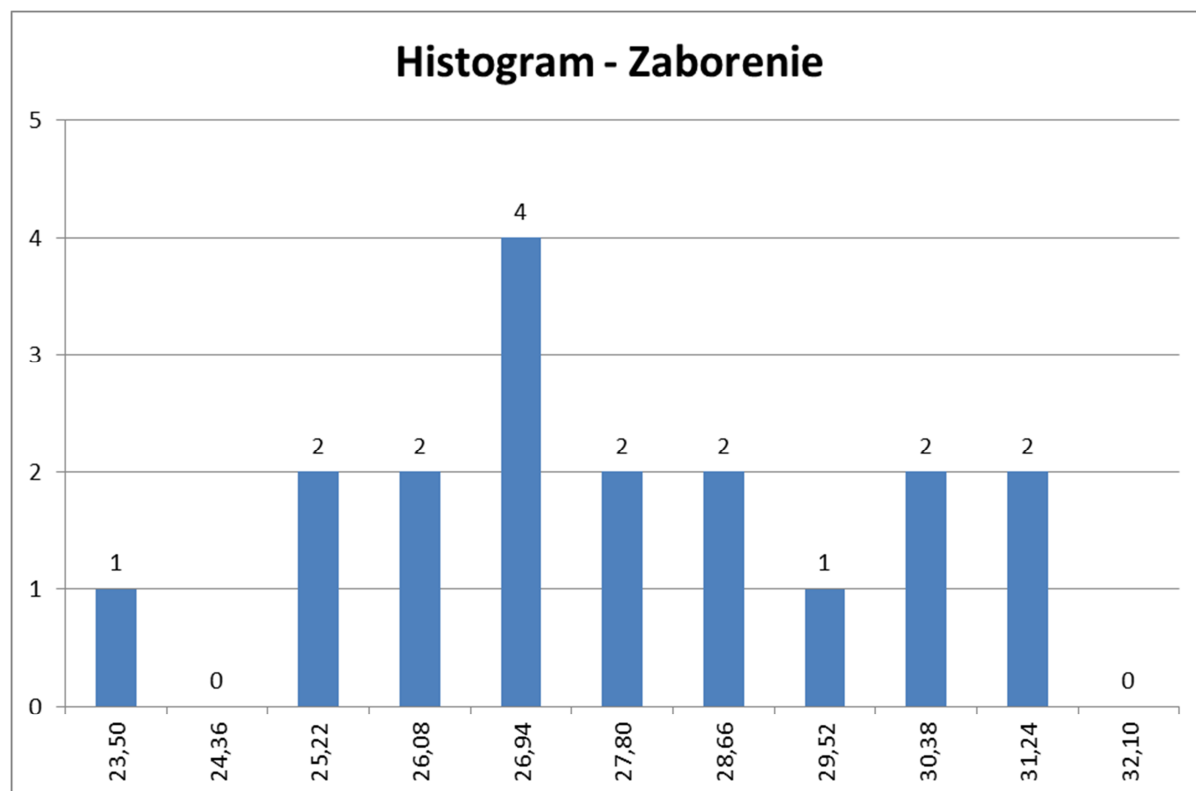
  

číslo	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
prvé odčítanie	3,7	3,5	3,4	2,4	2,7	2,1	3,4	2,1	2,6	3,4
druhé odčítanie	31,3	31,9	29,6	28,9	28,3	31,6	28,3	29,4	26,1	28,3
zaborenie	27,6	28,4	26,2	26,5	25,6	29,5	24,9	27,3	23,5	24,9

Počet zaborení je 20. Najnižšia hodnota zaborenia je 23,5 mm a najvyššia hodnota je 32,1 mm. Do pravdepodobnosti intervalu spoľahlivosti (95%) patria čísla od 26,7 mm po 29,0 mm. Priemerná hodnota je 27,855 mm a stredná hodnota je 27,45 mm.

Tabuľka 18 : Údaje o zaborení

Zaborenie	
Počet vzoriek	20
Min	23,5
Max	32,1
Rozsah	8,6
Priemerná hodnota	27,855
Median	27,45
Priemerná odchýlka	2,1605
Variácia	6,146475
Štandardná odchýlka	2,47920854
Koeficient variácií	8,90040762
Pravdepodobnosť intervalu spoľahlivosti P [95%]	26,7 - 29,



Obrázok 33 - Histogram vzorky č. 4

## 8.6. Vzorka č. 5

Tabuľka 19: Výpočet vlhkosti

hmotnosť prázdnej misky	10,09	g
hmotnosť vlhkého vzorku s miskou	481,00	g
hmotnosť vysušeného vzorku s miskou	411,45	g
hmotnosť vlhkého vzorku bez misky	470,91	g
hmotnosť vysušeného vzorku bez misky	401,36	g
hmotnosť vody vo vzorku	69,55	g
w=	17,33	%

Tabuľka 20: Hĺbka zaborenia kužľa

číslo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
prvé odčítanie	1,7	1,6	1,9	1,2	2,0	1,5	1,8	1,5	2,1	1,9
druhé odčítanie	30,4	33,4	28,2	27,3	29,3	32,2	33,0	29,1	24,5	24,3
zaborenie	28,7	31,8	26,3	26,1	27,3	30,7	31,2	27,6	22,4	22,4

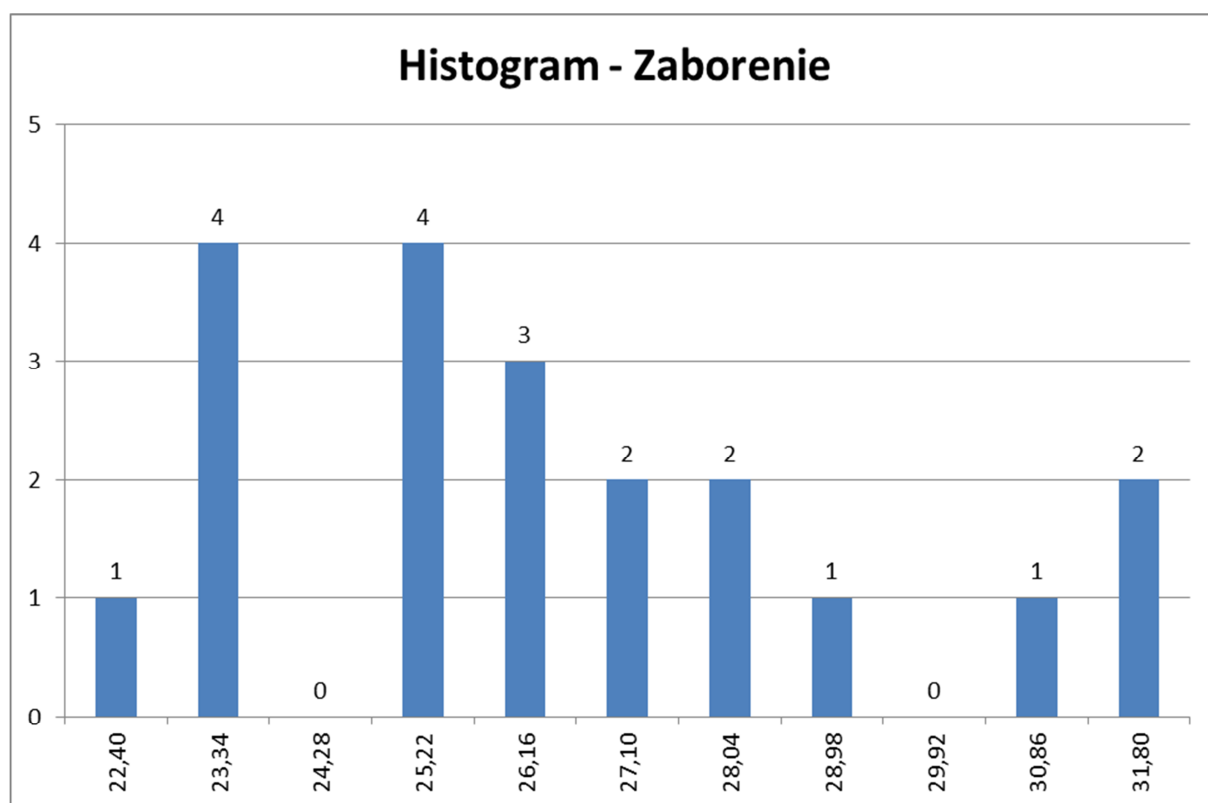
  

číslo	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
prvé odčítanie	1,4	1,5	1,4	1,7	2,0	2,2	2,1	1,4	1,8	1,9
druhé odčítanie	27,2	26,4	27,5	28,5	25,0	27,1	24,9	26,0	26,3	24,8
zaborenie	25,8	24,9	26,1	26,8	23,0	24,9	22,8	24,6	24,5	22,9

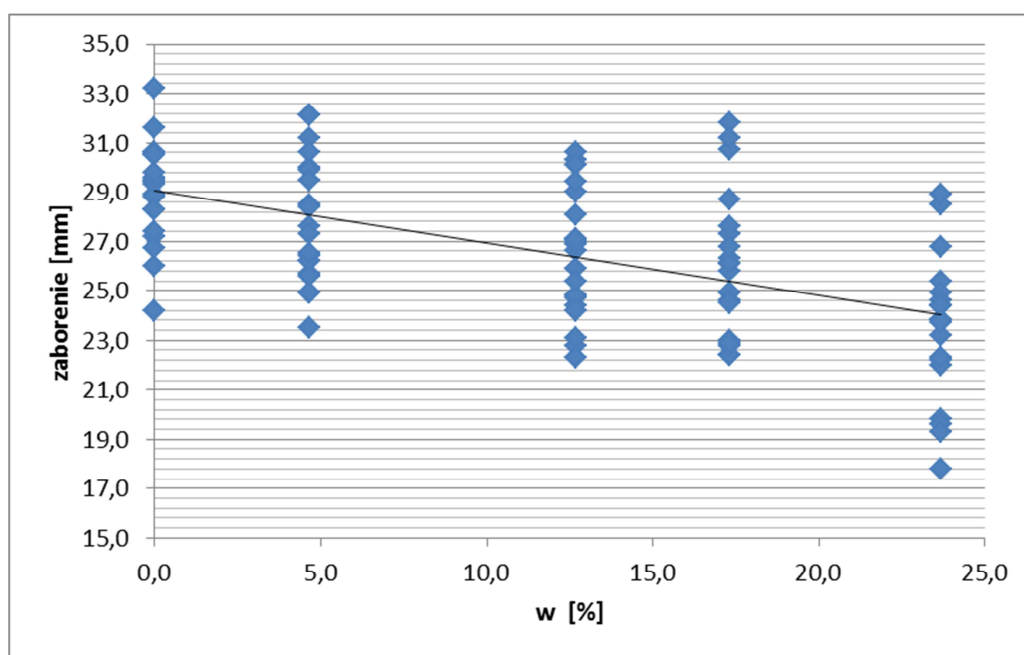
Počet zaborení je 20. Najnižšia hodnota zaborenia je 22,4 mm a najvyššia hodnota je 31,8 mm. Do pravdepodobnosti intervalu spoľahlivosti (95%) patria čísla od 24,7 mm po 27,4 mm. Priemerná hodnota je 26,04 mm a stredná hodnota je 25,95 mm.

Tabuľka 21: Údaje o zaborení

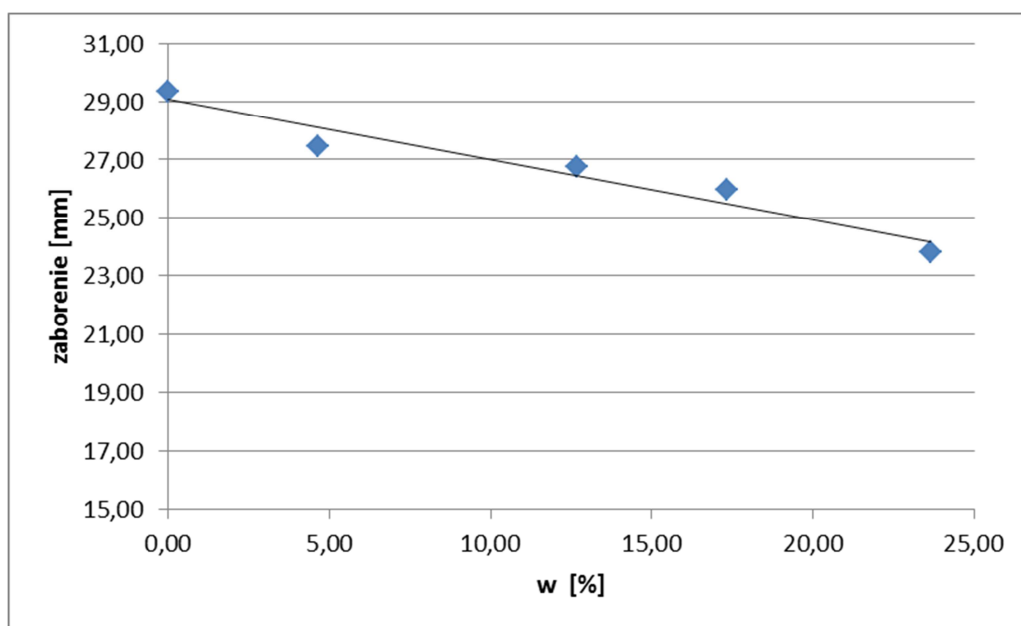
Zaborenie	
Počet vzoriek	20
Min	22,4
Max	31,8
Rozsah	9,4
Priemerná hodnota	26,04
Median	25,95
Priemerná odchýlka	2,22
Variácia	7,8234
Štandardná odchýlka	2,79703414
Koeficient variácií	10,7412986
Pravdepodobnosť intervalu spoľahlivosti P [95%]	24,7 - 27,4



Obrázok 34 - Histogram vzorky č. 5



Obrázok 35 - Graf závislosti zaborenia na vlhkosti



Obrázok 36 - Graf závislosti zaborenia stredných hodnôt vzoriek na vlhkosti

### 8.7. Závislosť uhla vnútorného trenia a súdržnosti na vlhkosti

Výpočet parametrov zvolenej lineárnej funkcie, resp. efektívnych parametrov šmykovej pevnosti ( $\varphi_{ef}$ ,  $c_{ef}$ ), uskutočníme pomocou lineárnej regresnej funkcie (metódou najmenších štvorcov).

Výpočet hodnoty tangensu uhla vnútorného trenia

$$\operatorname{tg} \varphi_{ef} = \frac{1}{a} (n \cdot \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sigma_{ef,i} - \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_{ef,i}) \quad [-] \quad (8.2)$$

Výpočet hodnoty súdržnosti

$$c_{ef} = \frac{1}{a} (\sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_{ef,i}^2 - \sum_{i=1}^n \sigma_{ef,i} \cdot \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sigma_{ef,i}) \quad [\text{kPa}] \quad (8.3)$$

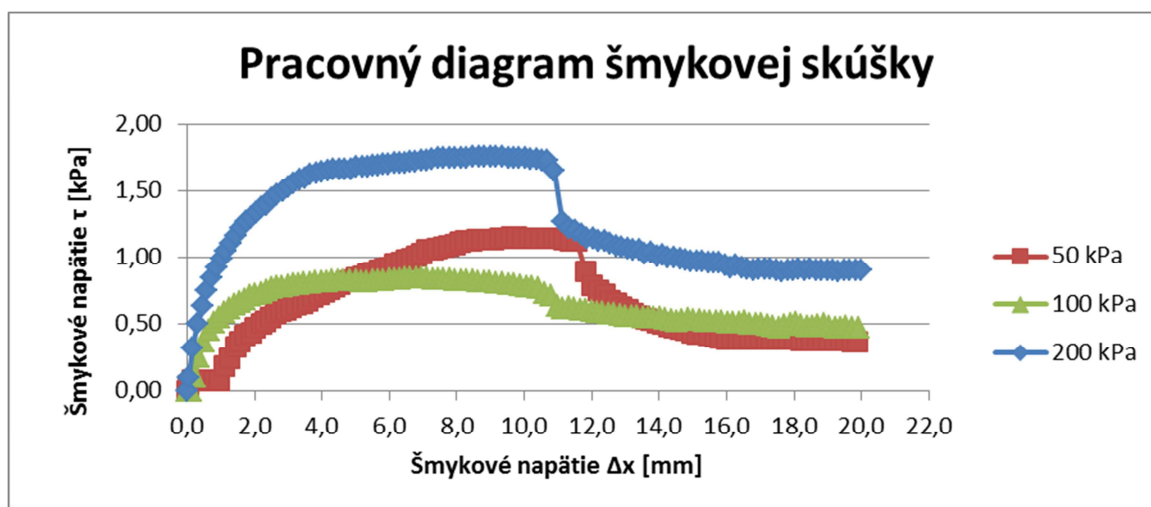
$\tau_i$  a  $\sigma_{ef,i}$  – zodpovedajúce dvojice napätí (šmykové a normálové), ktoré boli zistené pri jednotlivých (i-tých) zaťaženiach (skúškach s rôznymi normálovými zaťažovacími silami [kPa],

$n$  – počet skúšok realizovaných pri rôznych normálových zaťaženiach [-],

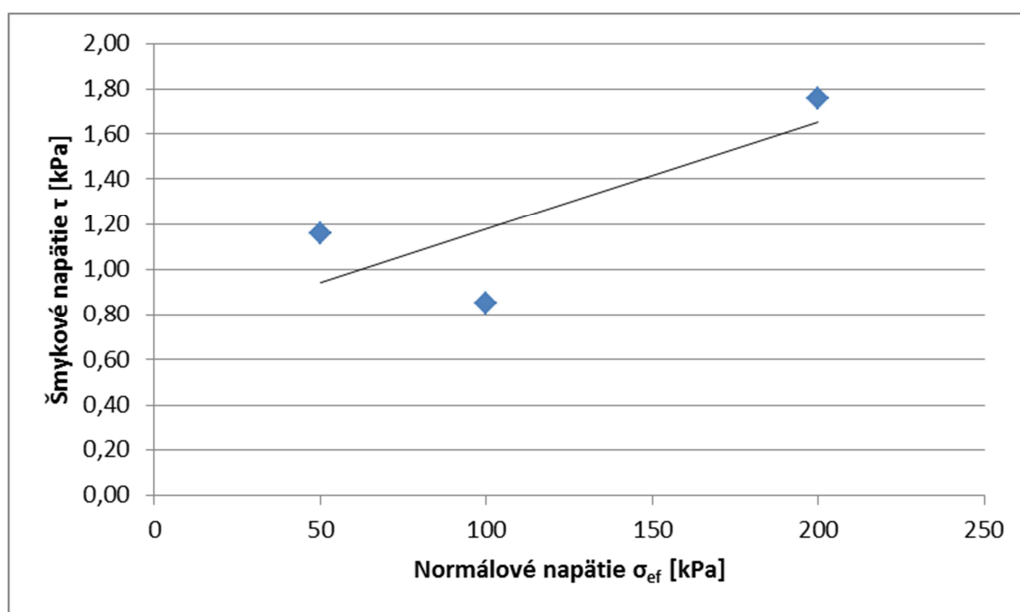
$a$  – parameter vypočítaný zo vzťahu:

$$a = n \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_{ef,i}^2 - (\sum_{i=1}^n \sigma_{ef,i})^2 \quad [\text{kPa}] \quad (8.4)$$

## 8.8. Vzorka č. 1



Obrázok 37 - Pracovný diagram šmykových skúšok vyhodnotený pre normálové napätia



Obrázok 38 - Zobrazenie zodpovedajúcich dvojíc normálových a šmykových napätí

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^3 \tau_i \cdot \sigma_{ef,i} &= \tau_1 \cdot \sigma_{ef,1} + \tau_2 \cdot \sigma_{ef,2} + \tau_3 \cdot \sigma_{ef,3} = \\ &= 116 \cdot 50 + 85 \cdot 100 + 176 \cdot 200 = 49500 \text{ kPa}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^3 \tau_i &= \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = \\ &= 116 + 85 + 176 = 377 \text{ kPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^3 \sigma_{ef,i} &= \sigma_{ef,1} + \sigma_{ef,2} + \sigma_{ef,3} = \\ &= 50 + 100 + 200 = 350 \text{ kPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^3 \sigma_{ef,i}^2 &= \sigma_{ef,1}^2 + \sigma_{ef,2}^2 + \sigma_{ef,3}^2 = \\ &= 50^2 + 100^2 + 200^2 = 52500 \text{ kPa}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\sum_{i=1}^3 \sigma_{ef,i})^2 &= (\sigma_{ef,1} + \sigma_{ef,2} + \sigma_{ef,3})^2 = \\ &= (50 + 100 + 200)^2 = 122500 \text{ kPa}\end{aligned}$$

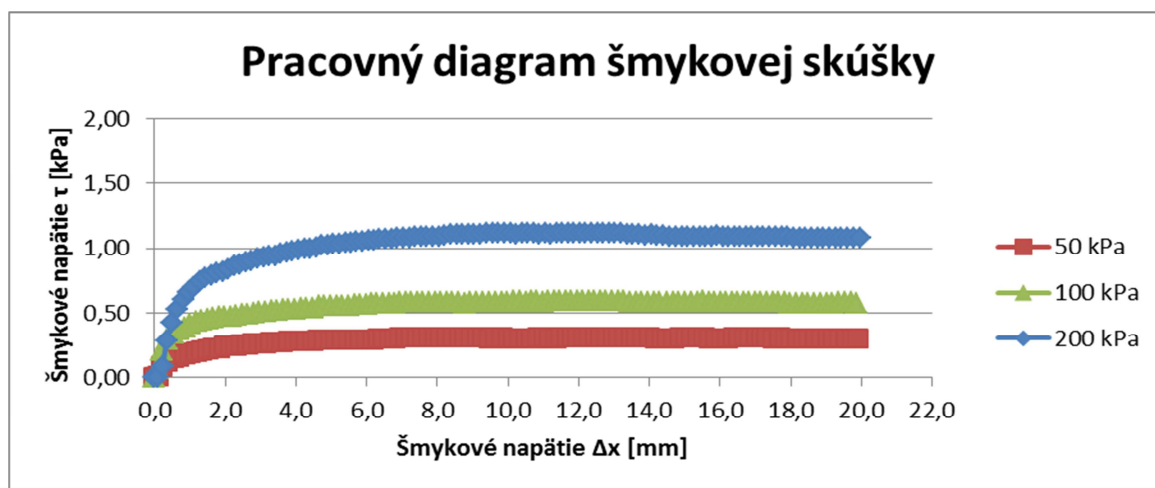
$$\begin{aligned}a &= n \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_{ef,i}^2 - (\sum_{i=1}^n \sigma_{ef,i})^2 \\ &= 3 \cdot 52500 - 122500 = 35000 \text{ kPa}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{tg } \varphi_{ef} &= \frac{1}{a} (n \cdot \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sigma_{ef,i} - \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_{ef,i}) \\ &= \frac{1}{35000} (3 \cdot 49500 - 377 \cdot 350) = 0,473\end{aligned}$$

$$\underline{\varphi_{ef} = 25,31^\circ}$$

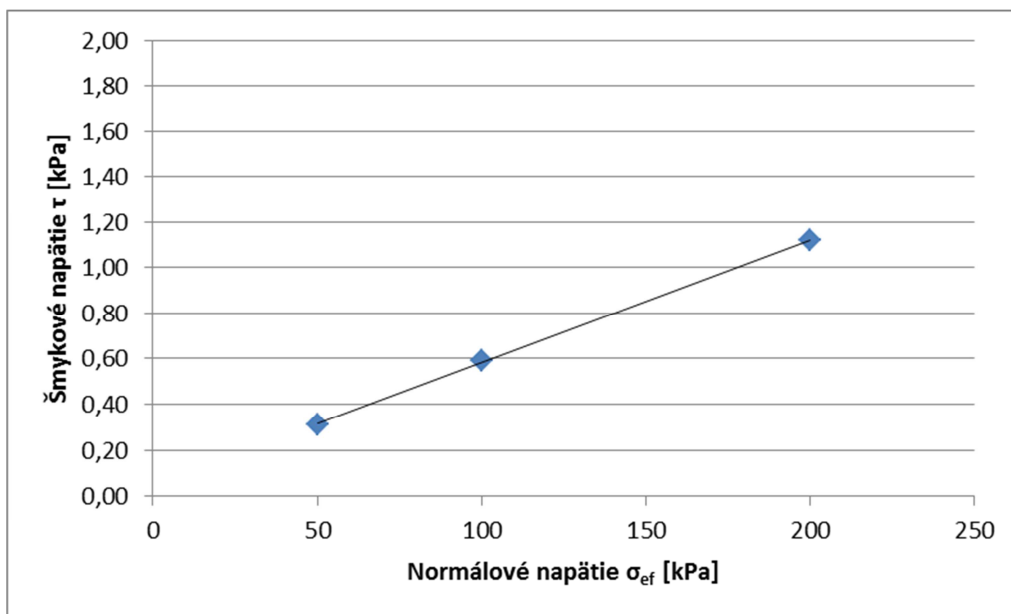
$$\begin{aligned}c_{ef} &= \frac{1}{a} (\sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_{ef,i}^2 - \sum_{i=1}^n \sigma_{ef,i} \cdot \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sigma_{ef,i}) \\ &= \frac{1}{35000} (377 \cdot 52500 - 350 \cdot 49500) = \underline{70,5 \text{ kPa}}\end{aligned}$$

## 8.9. Vzorka č. 2



Obrázok 39 - Pracovný diagram šmykových skúšok vyhodnotený pre normálové napätia





Obrázok 40 -Zobrazenie zodpovedajúcich dvojíc normálových a šmykových napätí

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^3 \tau_i \cdot \sigma_{ef,i} &= \tau_1 \cdot \sigma_{ef,1} + \tau_2 \cdot \sigma_{ef,2} + \tau_3 \cdot \sigma_{ef,3} = \\ &= 31 \cdot 50 + 59 \cdot 100 + 112 \cdot 200 = 29850 \text{ kPa}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^3 \tau_i &= \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = \\ &= 31 + 59 + 112 = 202 \text{ kPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^3 \sigma_{ef,i} &= \sigma_{ef,1} + \sigma_{ef,2} + \sigma_{ef,3} = \\ &= 50 + 100 + 200 = 350 \text{ kPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^3 \sigma_{ef,i}^2 &= \sigma_{ef,1}^2 + \sigma_{ef,2}^2 + \sigma_{ef,3}^2 = \\ &= 50^2 + 100^2 + 200^2 = 52500 \text{ kPa}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\sum_{i=1}^3 \sigma_{ef,i})^2 &= (\sigma_{ef,1} + \sigma_{ef,2} + \sigma_{ef,3})^2 = \\ &= (50 + 100 + 200)^2 = 122500 \text{ kPa}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a &= n \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_{ef,i}^2 - (\sum_{i=1}^n \sigma_{ef,i})^2 \\ &= 3 \cdot 52500 - 122500 = 35000 \text{ kPa}^2\end{aligned}$$

$$\text{tg } \varphi_{ef} = \frac{1}{a} (n \cdot \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sigma_{ef,i} - \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_{ef,i})$$

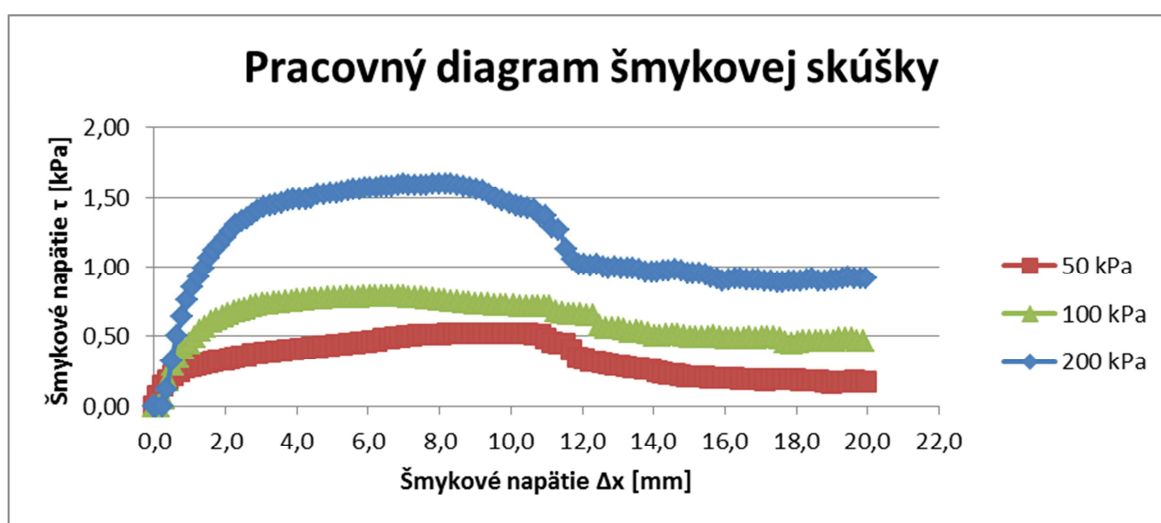
$$= \frac{1}{35000} (3 \cdot 29850 - 202 \cdot 350) = 0,539$$

$$\underline{\varphi_{ef} = 28,31^\circ}$$

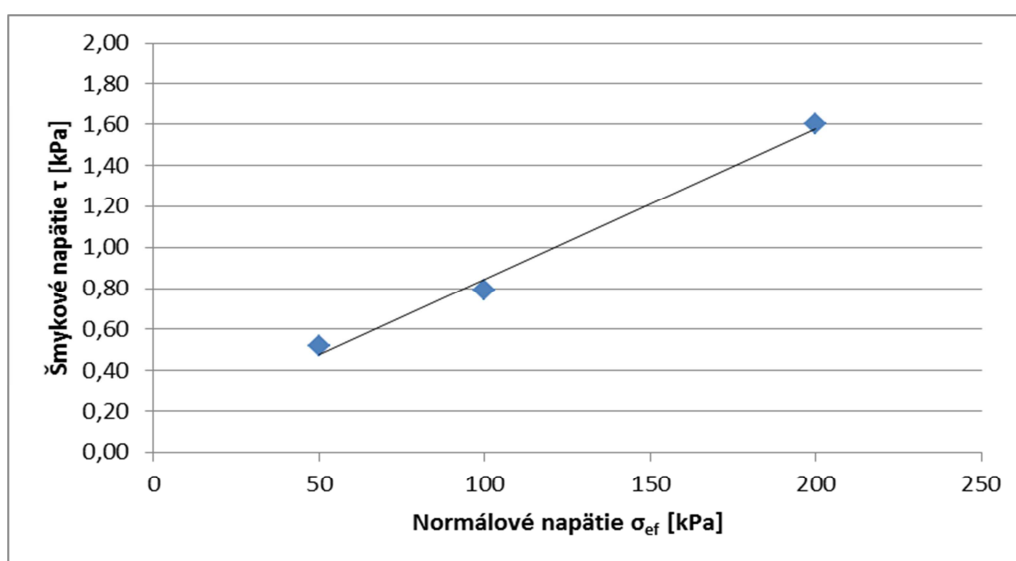
$$c_{ef} = \frac{1}{a} (\sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_{ef,i}^2 - \sum_{i=1}^n \sigma_{ef,i} \cdot \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sigma_{ef,i})$$

$$= \frac{1}{35000} (202 \cdot 52500 - 350 \cdot 29850) = \underline{4,5 \text{ kPa}}$$

### 8.10. Vzorka č. 3



Obrázok 41 - Pracovný diagram šmykových skúšok vyhodnotený pre normálové napätia



Obrázok 42 -Zobrazenie zodpovedajúcich dvojíc normálových a šmykových napätí

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^3 \tau_i \cdot \sigma_{ef,i} &= \tau_1 \cdot \sigma_{ef,1} + \tau_2 \cdot \sigma_{ef,2} + \tau_3 \cdot \sigma_{ef,3} = \\ &= 52 \cdot 50 + 79 \cdot 100 + 160 \cdot 200 = 42500 \text{ kPa}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^3 \tau_i &= \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = \\ &= 52 + 79 + 160 = 291 \text{ kPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^3 \sigma_{ef,i} &= \sigma_{ef,1} + \sigma_{ef,2} + \sigma_{ef,3} = \\ &= 50 + 100 + 200 = 350 \text{ kPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^3 \sigma_{ef,i}^2 &= \sigma_{ef,1}^2 + \sigma_{ef,2}^2 + \sigma_{ef,3}^2 = \\ &= 50^2 + 100^2 + 200^2 = 52500 \text{ kPa}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\sum_{i=1}^3 \sigma_{ef,i})^2 &= (\sigma_{ef,1} + \sigma_{ef,2} + \sigma_{ef,3})^2 = \\ &= (50 + 100 + 200)^2 = 122500 \text{ kPa}\end{aligned}$$

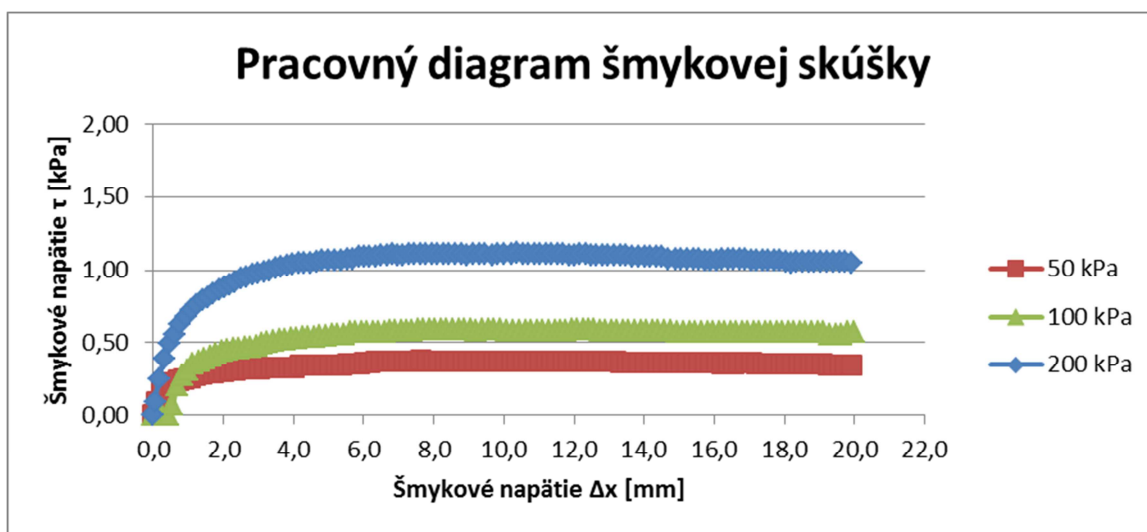
$$\begin{aligned}a &= n \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_{ef,i}^2 - (\sum_{i=1}^n \sigma_{ef,i})^2 \\ &= 3 \cdot 52500 - 122500 = 35000 \text{ kPa}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{tg } \varphi_{\text{ef}} &= \frac{1}{a} (n \cdot \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sigma_{ef,i} - \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_{ef,i}) \\ &= \frac{1}{35000} (3 \cdot 42500 - 291 \cdot 350) = 0,733\end{aligned}$$

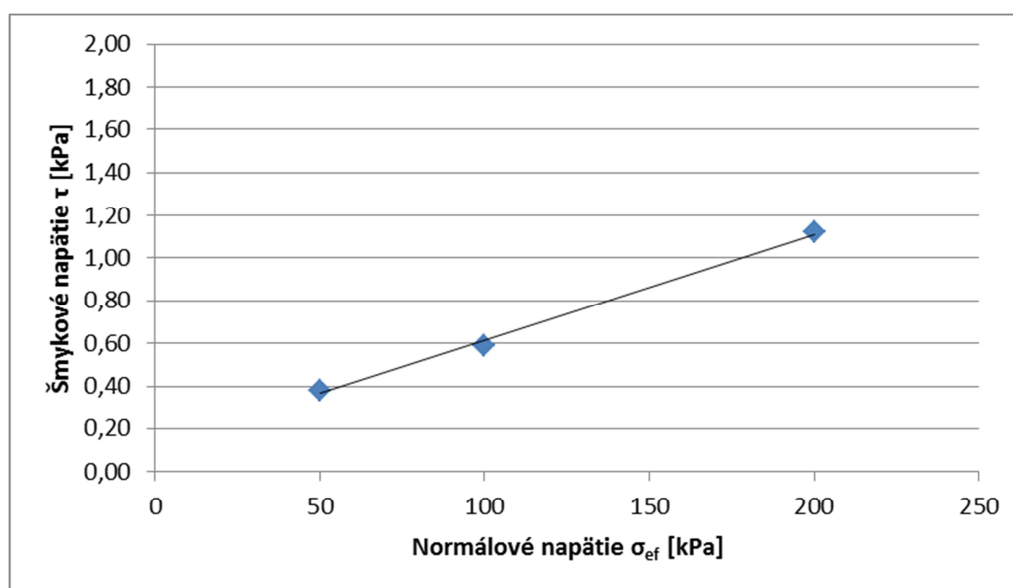
$$\underline{\varphi_{\text{ef}} = 36,24^\circ}$$

$$\begin{aligned}c_{\text{ef}} &= \frac{1}{a} (\sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_{ef,i}^2 - \sum_{i=1}^n \sigma_{ef,i} \cdot \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sigma_{ef,i}) \\ &= \frac{1}{35000} (291 \cdot 52500 - 350 \cdot 42500) = \underline{\underline{11,5 \text{ kPa}}}\end{aligned}$$

## 8.11. Vzorka č. 4



Obrázok 43 - Pracovný diagram šmykových skúšok vyhodnotený pre normálové napätia



Obrázok 44 - Zobrazenie zodpovedajúcich dvojíc normálových a šmykových napätí

$$\sum_{i=1}^3 \tau_i \cdot \sigma_{ef,i} = \tau_1 \cdot \sigma_{ef,1} + \tau_2 \cdot \sigma_{ef,2} + \tau_3 \cdot \sigma_{ef,3} =$$

$$= 38 \cdot 50 + 59 \cdot 100 + 112 \cdot 200 = 30200 \text{ kPa}^2$$

$$\sum_{i=1}^3 \tau_i = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 =$$

$$= 38 + 59 + 112 = 209 \text{ kPa}$$

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^3 \sigma_{ef,i} &= \sigma_{ef,1} + \sigma_{ef,2} + \sigma_{ef,3} = \\ &= 50 + 100 + 200 = 350 \text{ kPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^3 \sigma_{ef,i}^2 &= \sigma_{ef,1}^2 + \sigma_{ef,2}^2 + \sigma_{ef,3}^2 = \\ &= 50^2 + 100^2 + 200^2 = 52500 \text{ kPa}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\sum_{i=1}^3 \sigma_{ef,i})^2 &= (\sigma_{ef,1} + \sigma_{ef,2} + \sigma_{ef,3})^2 = \\ &= (50 + 100 + 200)^2 = 122500 \text{ kPa}\end{aligned}$$

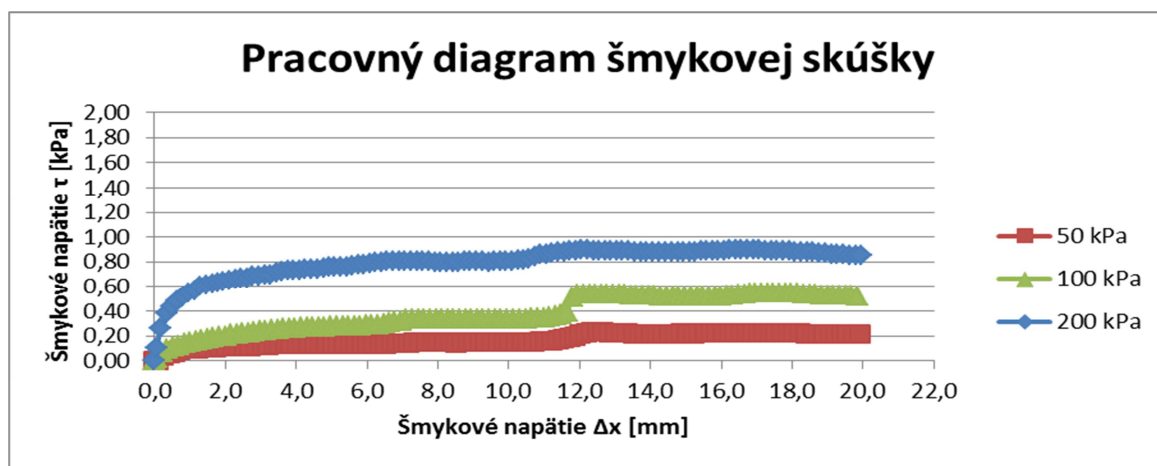
$$\begin{aligned}a &= n \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_{ef,i}^2 - (\sum_{i=1}^n \sigma_{ef,i})^2 \\ &= 3 \cdot 52500 - 122500 = 35000 \text{ kPa}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{tg } \varphi_{ef} &= \frac{1}{a} (n \cdot \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sigma_{ef,i} - \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_{ef,i}) \\ &= \frac{1}{35000} (3 \cdot 30200 - 209 \cdot 350) = 0,499\end{aligned}$$

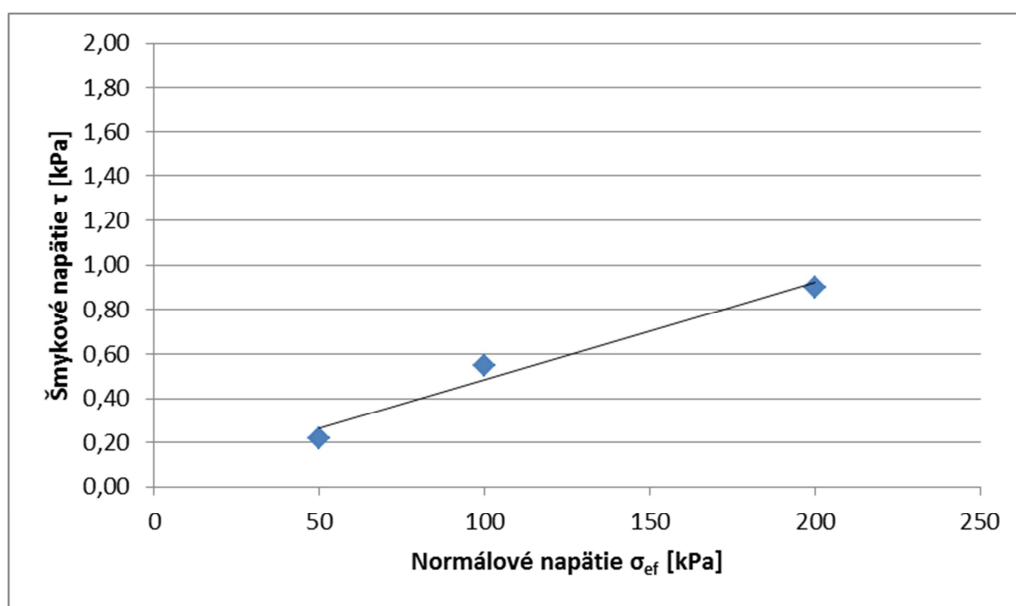
$$\underline{\varphi_{ef} = 26,50^\circ}$$

$$\begin{aligned}c_{ef} &= \frac{1}{a} (\sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_{ef,i}^2 - \sum_{i=1}^n \sigma_{ef,i} \cdot \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sigma_{ef,i}) \\ &= \frac{1}{35000} (209 \cdot 52500 - 350 \cdot 30200) = \underline{\underline{11,5 \text{ kPa}}}\end{aligned}$$

## 8.12. Vzorka č. 5



Obrázok 45 - Pracovný diagram šmykových skúšok vyhodnotený pre normálové napätia



Obrázok 46 - Zobrazenie zodpovedajúcich dvojíc normálových a šmykových napätí

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^3 \tau_i \cdot \sigma_{ef,i} &= \tau_1 \cdot \sigma_{ef,1} + \tau_2 \cdot \sigma_{ef,2} + \tau_3 \cdot \sigma_{ef,3} = \\ &= 22 \cdot 50 + 55 \cdot 100 + 90 \cdot 200 = 24600 \text{ kPa}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^3 \tau_i &= \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = \\ &= 22 + 55 + 90 = 167 \text{ kPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^3 \sigma_{ef,i} &= \sigma_{ef,1} + \sigma_{ef,2} + \sigma_{ef,3} = \\ &= 50 + 100 + 200 = 350 \text{ kPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^3 \sigma_{ef,i}^2 &= \sigma_{ef,1}^2 + \sigma_{ef,2}^2 + \sigma_{ef,3}^2 = \\ &= 50^2 + 100^2 + 200^2 = 52500 \text{ kPa}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\sum_{i=1}^3 \sigma_{ef,i})^2 &= (\sigma_{ef,1} + \sigma_{ef,2} + \sigma_{ef,3})^2 = \\ &= (50 + 100 + 200)^2 = 122500 \text{ kPa}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a &= n \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_{ef,i}^2 - (\sum_{i=1}^n \sigma_{ef,i})^2 \\ &= 3 \cdot 52500 - 122500 = 35000 \text{ kPa}^2\end{aligned}$$

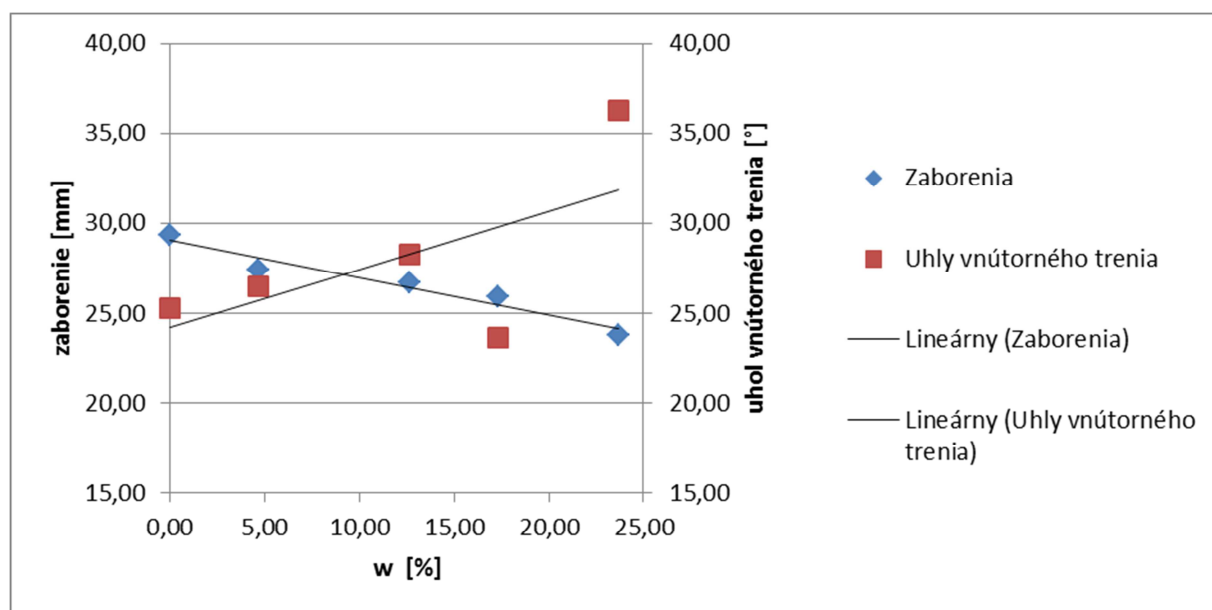
$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi_{\text{ef}} &= \frac{1}{a} (n \cdot \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sigma_{\text{ef},i} - \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_{\text{ef},i}) \\ &= \frac{1}{35000} (3 \cdot 24600 - 167 \cdot 350) = 0,439 \end{aligned}$$

$$\varphi_{\text{ef}} = \underline{\underline{23,68^\circ}}$$

$$\begin{aligned} c_{\text{ef}} &= \frac{1}{a} (\sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_{\text{ef},i}^2 - \sum_{i=1}^n \sigma_{\text{ef},i} \cdot \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot \sigma_{\text{ef},i}) \\ &= \frac{1}{35000} (167 \cdot 52500 - 350 \cdot 24600) = \underline{\underline{4,5 \text{ kPa}}} \end{aligned}$$

Tabuľka 22: Hodnoty vnútorného uhla a súdržnosti na vlhkosti

vlhkosť	0,00%	4,67%	12,68%	17,33%	23,67%
uhol vnutorneho trenia [°]	25,31	26,5	28,31	23,68	36,24
sudržnosť [kPa]	70,5	11,5	4,5	4,5	11,5



Obrázok 47 - Graf závislosti zaborenia a uhla vnútorného trenia na vlhkosti

## 9. Záver

V tejto bakalárskej práci išlo o zistenie vlivu vlhkosti na šmykovú pevnosť nesúdržných zemín. Pomocou meraní Vasiljevovým kužeľom sa zistilo, že čím je väčšia vlhkosť vzorky, tým je menšie zaborenie. Zaborenie je menšie z dôvodu odporu vody vo vzorke na kužeľ. Hodnoty zaborenia sa pohybujú od 28,1 mm po 30,0 mm pri suchom vzorku až po hodnoty 22,2 mm po 24,8 mm pri 100% saturovanom vzorku. Pri meraní na čeľusťovom (krabicovom) prístroji vyšla pri suchom vzorku súdržnosť 70,5 kPa, pričom súdržnosť vzorky má byť 0 kPa. Pri 100% saturovanom vzorku vyšiel uhol vnútorného trenia  $36,24^\circ$ . Tento uhol by mal byť menší a súdržnosť by mala byť tiež nulová pričom vyšla 11,5 kPa. Tieto chybné výsledky mohli byť spôsobené chybou pri meraní a nekvalitným pripravením vzorku. Vplyv na tieto chyby mohla mať aj pórovitosť ktorá bola pri 100% saturovanom vzorku menšia ako pri zvyšných. 100% saturovaná vzorka mala pórovitosť 44,86% a zvyšné vzorky mali pórovitosť okolo 51% - 52%. Pri vlhkosti 4,67% a 12,68% vyšla malá súdržnosť, ktorá je spôsobená kapilárnymi silami. Hodnoty namerané na čeľusťovom (krabicovom) prístroji sa nedajú považovať za správne. Pri ďalších meraniach je nutné sa venovať kvalitnej príprave vzoriek a meranie opakovať.



## ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1 - Grafické zobrazenie čiary šmykovej pevnosti zeminy.....	16
Obrázok 2 - Grafické zobrazenie šmykového a normálového napätia pôsobiaceho vo vzorke zeminy pri namáhaní šmykom .....	16
Obrázok 3 - Grafické zobrazenie čiary šmykovej pevnosti pre sypké zeminy .....	18
Obrázok 4 - Grafické zobrazenie čiary šmykovej pevnosti pre ideálne súdržný materiál .....	18
Obrázok 5 - Závislosť šmykového odporu a pórovitosti pieskov na šmykovom posunutí.....	20
Obrázok 6 - Vasiljevov kužeľový prístroj pre stanovenie medze tekutosti (Foto autor) .....	23
Obrázok 7 - Príklad protokolu.....	24
Obrázok 8- Pracovný diagram krabicovej šmykovej skúšky .....	29
Obrázok 9 - Sitá na preosievanie (Foto autor) .....	30
Obrázok 10 - Ručné preosievanie (Foto autor) .....	30
Obrázok 11 - Krivka zrnitosti (Foto autor) .....	31
Obrázok 12 -Trojuholníkový diagram (Foto autor) .....	32
Obrázok 13 - Trojuholníkový a štvorcový diagram (Foto autor).....	32
Obrázok 14 - Príprava vzorku (Foto autor).....	33
Obrázok 15 - Prilievanie vody do vzorky (Foto autor) .....	33
Obrázok 16 - Vzorky určitých vlhkostí (Foto autor).....	34
Obrázok 17 - Nastavenie kužeľa (Foto autor).....	34
Obrázok 18 - Prvé odčítanie (Foto autor).....	35
Obrázok 19 - Druhé odčítanie (Foto autor).....	35
Obrázok 20 - Vzorky v sušičke (Foto autor).....	35
Obrázok 21 - Čelústový (krabicový) prístroj (Foto autor) .....	36
Obrázok 22 - Spodná a vrchná časť šmykovej krabice (Foto autor).....	36
Obrázok 23 - Vzorka v šmykovej krabici (Foto autor) .....	37
Obrázok 24 - Nastavený rám na vyvodenie normálového napätia (Foto autor) .....	37
Obrázok 25 - Závažie 200 kPa (Foto autor).....	37
Obrázok 26 - Zaznamenávanie údajov (Foto autor).....	38
Obrázok 27 - Ušmyknutie vzorku (Foto autor) .....	38
Obrázok 28 - Zalievanie vzorky okolo čelústi (Foto autor).....	39
Obrázok 29 - Zaliata vzorka (Foto autor).....	39
Obrázok 30 - Histogram vzorky č. 1 .....	43

Obrázok 31 - Histogram vzorky č. 2 .....	44
Obrázok 32 - Histogram vzorky č. 3 .....	46
Obrázok 33 - Histogram vzorky č. 4 .....	47
Obrázok 34 - Histogram vzorky č. 5 .....	49
Obrázok 35 - Graf závislosti zaborenia na vlhkosti .....	49
Obrázok 36 - Graf závislosti zaborenia stredných hodnôt vzoriek na vlhkosti .....	50
Obrázok 37 - Pracovný diagram šmykových skúšok vyhodnotený pre normálové napätia ....	51
Obrázok 38 - Zobrazenie zodpovedajúcich dvojíc normálových a šmykových napätí.....	51
Obrázok 39 - Pracovný diagram šmykových skúšok vyhodnotený pre normálové napätia ....	52
Obrázok 40 -Zobrazenie zodpovedajúcich dvojíc normálových a šmykových napätí.....	53
Obrázok 41 - Pracovný diagram šmykových skúšok vyhodnotený pre normálové napätia ....	54
Obrázok 42 -Zobrazenie zodpovedajúcich dvojíc normálových a šmykových napätí.....	54
Obrázok 43 - Pracovný diagram šmykových skúšok vyhodnotený pre normálové napätia ....	56
Obrázok 44 - Zobrazenie zodpovedajúcich dvojíc normálových a šmykových napätí.....	56
Obrázok 45 - Pracovný diagram šmykových skúšok vyhodnotený pre normálové napätia ....	57
Obrázok 46 - Zobrazenie zodpovedajúcich dvojíc normálových a šmykových napätí.....	58
Obrázok 47 - Graf závislosti zaborenia a uhla vnútorného trenia na vlhkosti .....	59

## ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 1: Stav sypkých zemín .....	14
Tabuľka 2: Orientačné hodnoty uhla vnútorného trenia nesúdržných materiálov .....	20
Tabuľka 3: Minimálna doba konsolidácie podľa STN 72 1030 .....	27
Tabuľka 4: Rýchlosť šmykového posunutia podľa STN 72 1030 .....	28
Tabuľka 5: Percentuálny zostatok na jednotlivých sítách .....	31
Tabuľka 6: Výpočet pórovitosti a čísla pórovitosti .....	41
Tabuľka 7: Výpočet vlhkosti .....	42
Tabuľka 8: Hĺbka zaborenia kužeľa .....	42
Tabuľka 9: Údaje o zaborení .....	42
Tabuľka 10: Výpočet vlhkosti .....	43
Tabuľka 11: Hĺbka zaborenia kužeľa .....	43
Tabuľka 12: Údaje o zaborení .....	44
Tabuľka 13: Výpočet vlhkosti .....	45
Tabuľka 14: Hĺbka zaborenia kužeľa .....	45
Tabuľka 15: Údaje o zaborení .....	45
Tabuľka 16: Výpočet vlhkosti .....	46
Tabuľka 17: Hĺbka zaborenia kužeľa .....	46
Tabuľka 18 : Údaje o zaborení .....	47
Tabuľka 19: Výpočet vlhkosti .....	48
Tabuľka 20: Hĺbka zaborenia kužeľa .....	48
Tabuľka 21: Údaje o zaborení .....	48
Tabuľka 22: Hodnoty vnútorného uhla a súdržnosti na vlhkosti .....	59

## ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] ŠIMEK, J., JESENÁK, J., ELRICH, J., VANÍČEK, I.: *Mechanika zemin*. Praha: SNTL, 1990. ISBN 8003004284.
- [2] HRUŠTINEC, Ľuboš a Ivan SLÁVIK. *Mechanika zemín - laboratórne cvičenia II.: Pevnostné a deformačné vlastnosti*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2012. Edícia skript. ISBN 9788022737661.
- [3] *Vplyv zmeny okrajových podmienok krabicovej šmykovej skúšky na zisťované parametre šmykovej pevnosti*. Žilina, 2002. Dostupné z : <http://fast10.vsb.cz/svoc/svoc2002/sekce/sekce6b.pdf>. SVOČ. Žilinská Univerzita. Vedúci práce Ing. Dušan Drinka.
- [4] SLÁVIK, Ivan a Ľuboš HRUŠTINEC. *Mechanika zemín - laboratórne cvičenia I.: geotechnický prieskum a základné fyzikálne vlastnosti*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2012. Edícia skript. ISBN 9788022737654.

## NORMY

- ČSN EN ISO 17892-2. GEOTECHNICKÝ PRIESKUM A SKÚŠANIE – LABORATÓRNE SKÚŠKY ZEMÍN – Časť 2: *Stanovenie objemovej hmotnosti jemnozrnných zemín*. Praha: Český normalizační institut, 2015.
- ČSN EN ISO 17892-3. GEOTECHNICKÝ PRIESKUM A SKÚŠANIE – LABORATÓRNE SKÚŠKY ZEMÍN – Časť 3: *Stanovenie zdanlivej hustoty pevných častíc zemín pomocí pyknometru*, Praha: Český normalizační institut, 2016.
- STN 72 1001 *Klasifikácia zemín a skalných hornín*, 2010
- STN 72 1030 *Laboratórne stanovenie šmykovej pevnosti zemín krabicovým prístrojom*, 1987
- STN 72 1012 *Laboratórne stanovenie vlhkosti zemín*, 1980
- STN 45 0660 *Krubicový prístroj pre laboratórne stanovenie šmykovej pevnosti zemín. Technické požiadavky*, 1988

## ZOZNAM PRÍLOH

- Príloha 1 - Záznam z čelustovej (krabicovej) skúšky vlhkost' 0,00% zaťaženie 50 kPa  
Príloha 2 - Záznam z čelustovej (krabicovej) skúšky vlhkost' 0,00% zaťaženie 100 kPa  
Príloha 3 - Záznam z čelustovej (krabicovej) skúšky vlhkost' 0,00% zaťaženie 200 kPa  
Príloha 4 - Záznam z čelustovej (krabicovej) skúšky vlhkost' 12,68% zaťaženie 50 kPa  
Príloha 5 - Záznam z čelustovej (krabicovej) skúšky vlhkost' 12,68% zaťaženie 100 kPa  
Príloha 6 - Záznam z čelustovej (krabicovej) skúšky vlhkost' 12,68% zaťaženie 200 kPa  
Príloha 7 - Záznam z čelustovej (krabicovej) skúšky vlhkost' 23,67% zaťaženie 50 kPa  
Príloha 8 - Záznam z čelustovej (krabicovej) skúšky vlhkost' 23,67% zaťaženie 100 kPa  
Príloha 9 - Záznam z čelustovej (krabicovej) skúšky vlhkost' 23,67% zaťaženie 200 kPa  
Príloha 10 - Záznam z čelustovej (krabicovej) skúšky vlhkost' 4,67% zaťaženie 50 kPa  
Príloha 11 - Záznam z čelustovej (krabicovej) skúšky vlhkost' 4,67% zaťaženie 100 kPa  
Príloha 12 - Záznam z čelustovej (krabicovej) skúšky vlhkost' 4,67% zaťaženie 200 kPa  
Príloha 13 - Záznam z čelustovej (krabicovej) skúšky vlhkost' 17,33% zaťaženie 50 kPa  
Príloha 14 - Záznam z čelustovej (krabicovej) skúšky vlhkost' 17,33% zaťaženie 100 kPa  
Príloha 15 - Záznam z čelustovej (krabicovej) skúšky vlhkost' 17,33% zaťaženie 200 kPa

## **Pod'akovanie**

Týmto by som chcel poďakovať pánovi doc. Ing. Karlovi Vojtasíkovi, CSc. Za jeho odborné vedenie, poskytovanie užitočných rád a materiálových podkladov a pomoc pri realizácii tejto bakalárskej práci.

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Vliv vlhkosti na smykovou pevnost nesoudržných zemin

Effect of Water Content on the Shear Strength of Cohesionless Soil

**PRÍLOHY**

Student:

Ondrej Kubala

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Karel Vojtasík, CSc.

Ostrava 2017

## Príloha 1 - Záznam z čeľusťovej (krabicovej) skúšky vlhkosť 0,00% zaťaženie 50 kPa

Názov úlohy	Bakalárska práca		
Vlhkosť	0,00%		
Číslo merania	1		
Dátum skúšky	27.3.2017		
Rýchlosť posunu	1mm/min		
Rozmer krabice	100 mm x 100 mm		
Výška vzorku	20 mm		
Normálové napätie $\sigma$	50 kPa		
Čas	Šmyková sila	Šmykové posunutie	Normálová deformácia
0:00:01	0	0	0
0:00:11	0,04	0,03	0
0:00:21	0,08	0,15	0
0:00:31	0,08	0,3	0
0:00:41	0,08	0,46	0
0:00:51	0,08	0,63	0
0:01:01	0,08	0,79	0
0:01:11	0,08	0,95	0
0:01:21	0,19	1,11	0
0:01:31	0,24	1,27	0,01
0:01:41	0,33	1,43	0,01
0:01:51	0,37	1,58	0,01
0:02:01	0,42	1,73	0,01
0:02:11	0,44	1,89	0,01
0:02:21	0,47	2,03	0,02
0:02:31	0,5	2,19	0,02
0:02:41	0,52	2,33	0,04
0:02:51	0,55	2,48	0,05
0:03:01	0,58	2,62	0,07
0:03:11	0,6	2,78	0,08
0:03:21	0,61	2,93	0,1
0:03:31	0,63	3,09	0,12
0:03:41	0,65	3,25	0,14
0:03:51	0,66	3,42	0,15
0:04:01	0,68	3,58	0,15
0:04:11	0,7	3,74	0,16
0:04:21	0,72	3,9	0,16
0:04:31	0,74	4,06	0,16
0:04:41	0,76	4,22	0,16
0:04:51	0,78	4,38	0,17
0:05:01	0,8	4,54	0,17
0:05:11	0,82	4,71	0,17
0:05:21	0,83	4,87	0,17
0:05:31	0,85	5,03	0,17
0:05:41	0,86	5,19	0,17
0:05:51	0,88	5,36	0,18
0:06:01	0,89	5,52	0,18
0:06:11	0,91	5,69	0,18
0:06:21	0,92	5,85	0,18
0:06:31	0,93	6,01	0,18
0:06:41	0,95	6,17	0,18
0:06:51	0,96	6,34	0,18



0:07:01	0,98	6,5	0,18
0:07:11	0,99	6,65	0,18
0:07:21	1,01	6,81	0,19
0:07:31	1,03	6,97	0,19
0:07:41	1,06	7,12	0,19
0:07:51	1,06	7,28	0,19
0:08:01	1,07	7,43	0,19
0:08:11	1,08	7,6	0,19
0:08:21	1,09	7,76	0,19
0:08:31	1,1	7,93	0,19
0:08:41	1,12	8,09	0,19
0:08:51	1,13	8,26	0,19
0:09:01	1,13	8,42	0,2
0:09:11	1,14	8,59	0,2
0:09:21	1,14	8,76	0,2
0:09:31	1,14	8,93	0,2
0:09:41	1,14	9,1	0,2
0:09:51	1,15	9,27	0,2
0:10:01	1,15	9,44	0,2
0:10:11	1,16	9,61	0,2
0:10:21	1,16	9,77	0,2
0:10:31	1,15	9,96	0,2
0:10:41	1,15	10,14	0,2
0:10:51	1,15	10,31	0,2
0:11:01	1,15	10,49	0,2
0:11:11	1,15	10,67	0,2
0:11:21	1,15	10,85	0,2
0:11:31	1,15	11,02	0,2
0:11:41	1,14	11,19	0,2
0:11:51	1,13	11,37	0,2
0:12:01	1,13	11,54	0,2
0:12:11	0,9	11,81	0,19
0:12:21	0,79	12,02	0,19
0:12:31	0,75	12,19	0,18
0:12:41	0,72	12,37	0,18
0:12:51	0,68	12,55	0,18
0:13:01	0,66	12,72	0,18
0:13:11	0,63	12,89	0,18
0:13:21	0,61	13,06	0,17
0:13:31	0,58	13,24	0,17
0:13:41	0,56	13,42	0,17
0:13:51	0,54	13,59	0,17
0:14:01	0,53	13,76	0,17
0:14:11	0,51	13,93	0,16
0:14:21	0,5	14,09	0,16
0:14:31	0,48	14,27	0,16
0:14:41	0,47	14,43	0,16
0:14:51	0,46	14,61	0,16

0:15:01	0,45	14,79	0,16
0:15:11	0,44	14,96	0,15
0:15:21	0,43	15,13	0,15
0:15:31	0,43	15,3	0,15
0:15:41	0,42	15,48	0,15
0:15:51	0,41	15,65	0,14
0:16:01	0,4	15,82	0,13
0:16:11	0,39	15,99	0,11
0:16:21	0,39	16,15	0,1
0:16:31	0,39	16,32	0,09
0:16:41	0,39	16,49	0,08
0:16:51	0,39	16,66	0,06
0:17:01	0,39	16,83	0,05
0:17:11	0,39	16,99	0,03
0:17:21	0,39	17,16	0,02
0:17:31	0,39	17,33	0
0:17:41	0,39	17,5	-0,01
0:17:51	0,39	17,67	-0,03
0:18:01	0,39	17,83	-0,04
0:18:11	0,39	18,01	-0,05
0:18:21	0,38	18,18	-0,06
0:18:31	0,38	18,35	-0,07
0:18:41	0,38	18,52	-0,08
0:18:51	0,38	18,69	-0,1
0:19:01	0,38	18,86	-0,11
0:19:11	0,38	19,03	-0,12
0:19:21	0,38	19,19	-0,14
0:19:31	0,38	19,36	-0,15
0:19:41	0,38	19,53	-0,16
0:19:51	0,37	19,7	-0,17
0:20:01	0,37	19,87	-0,19
Překročeno max. smykové posunutí 20 mm			

## Príloha 2 - Záznam z čepustovej (krabicovej) skúšky vlhkost' 0,00% zaťaženie 100 kPa

Názov úlohy	Bakalárska práca		
Vlhkosť	0,00%		
Číslo merania	2		
Dátum skúšky	27.3.2017		
Rýchlosť posunu	1mm/min		
Rozmer krabice	100 mm x 100 mm		
Výška vzorku	20 mm		
Normálové napätie $\sigma$	100 kPa		
Čas	Smyková sila	Smykové posunutie	Normálová deformácia
0:00:00	0	0	0
0:00:10	0	0,12	0
0:00:20	0,11	0,23	0,01
0:00:30	0,25	0,35	0,03
0:00:40	0,37	0,49	0,03
0:00:50	0,45	0,64	0,03
0:01:00	0,51	0,79	0,04
0:01:10	0,55	0,94	0,04
0:01:20	0,59	1,09	0,04
0:01:30	0,62	1,25	0,04
0:01:40	0,65	1,4	0,04
0:01:50	0,67	1,56	0,04
0:02:00	0,69	1,72	0,04
0:02:10	0,71	1,87	0,04
0:02:20	0,72	2,03	0,04
0:02:30	0,73	2,19	0,04
0:02:40	0,75	2,35	0,04
0:02:50	0,77	2,5	0,04
0:03:00	0,78	2,66	0,05
0:03:10	0,78	2,83	0,05
0:03:20	0,79	2,99	0,05
0:03:30	0,8	3,15	0,05
0:03:40	0,8	3,31	0,05
0:03:50	0,81	3,48	0,05
0:04:00	0,81	3,64	0,05
0:04:10	0,82	3,81	0,05
0:04:20	0,82	3,98	0,05
0:04:30	0,82	4,14	0,05
0:04:40	0,83	4,31	0,05
0:04:50	0,83	4,49	0,05
0:05:00	0,83	4,65	0,05
0:05:10	0,83	4,82	0,05
0:05:20	0,83	5	0,05
0:05:30	0,82	5,17	0,05
0:05:40	0,82	5,34	0,05
0:05:50	0,83	5,5	0,05
0:06:00	0,83	5,67	0,05
0:06:10	0,83	5,83	0,06
0:06:20	0,84	5,99	0,06
0:06:30	0,84	6,14	0,06
0:06:40	0,84	6,3	0,06
0:06:50	0,85	6,47	0,07

0:07:00	0,85	6,63	0,07
0:07:10	0,85	6,79	0,08
0:07:20	0,85	6,95	0,08
0:07:30	0,85	7,12	0,09
0:07:40	0,84	7,28	0,09
0:07:50	0,84	7,45	0,09
0:08:00	0,84	7,62	0,1
0:08:10	0,84	7,79	0,1
0:08:20	0,83	7,96	0,1
0:08:30	0,83	8,13	0,1
0:08:40	0,83	8,3	0,1
0:08:50	0,83	8,47	0,1
0:09:00	0,82	8,64	0,1
0:09:10	0,82	8,81	0,1
0:09:20	0,82	8,98	0,1
0:09:30	0,81	9,15	0,1
0:09:40	0,81	9,33	0,1
0:09:50	0,8	9,52	0,1
0:10:00	0,8	9,69	0,1
0:10:10	0,79	9,87	0,1
0:10:20	0,78	10,06	0,1
0:10:30	0,78	10,24	0,1
0:10:40	0,77	10,41	0,1
0:10:50	0,73	10,6	0,09
0:11:00	0,71	10,78	0,09
0:11:10	0,64	10,97	0,09
0:11:20	0,62	11,14	0,09
0:11:30	0,63	11,31	0,09
0:11:40	0,62	11,48	0,09
0:11:50	0,61	11,65	0,09
0:12:00	0,61	11,82	0,09
0:12:10	0,6	11,99	0,09
0:12:20	0,59	12,16	0,09
0:12:30	0,59	12,33	0,09
0:12:40	0,58	12,49	0,09
0:12:50	0,58	12,66	0,09
0:13:00	0,57	12,83	0,09
0:13:10	0,56	13	0,09
0:13:20	0,56	13,17	0,09
0:13:30	0,56	13,34	0,09
0:13:40	0,55	13,51	0,09
0:13:50	0,55	13,67	0,08
0:14:00	0,55	13,84	0,08
0:14:10	0,55	14,01	0,07
0:14:20	0,54	14,18	0,06
0:14:30	0,53	14,35	0,05
0:14:40	0,52	14,52	0,04
0:14:50	0,53	14,68	0,03

0:15:00	0,54	14,85	0,03
0:15:10	0,53	15,02	0,02
0:15:20	0,53	15,19	0,01
0:15:30	0,52	15,36	0
0:15:40	0,52	15,52	-0,01
0:15:50	0,52	15,69	-0,02
0:16:00	0,52	15,86	-0,03
0:16:10	0,51	16,03	-0,04
0:16:20	0,51	16,19	-0,04
0:16:30	0,51	16,36	-0,05
0:16:40	0,52	16,53	-0,06
0:16:50	0,5	16,69	-0,07
0:17:00	0,5	16,86	-0,09
0:17:10	0,5	17,03	-0,11
0:17:20	0,49	17,21	-0,13
0:17:30	0,48	17,38	-0,14
0:17:40	0,47	17,55	-0,14
0:17:50	0,49	17,71	-0,14
0:18:00	0,5	17,88	-0,14
0:18:10	0,51	18,04	-0,15
0:18:20	0,49	18,21	-0,16
0:18:30	0,48	18,38	-0,17
0:18:40	0,48	18,55	-0,18
0:18:50	0,49	18,71	-0,19
0:19:00	0,5	18,88	-0,21
0:19:10	0,48	19,05	-0,23
0:19:20	0,47	19,21	-0,24
0:19:30	0,47	19,38	-0,25
0:19:40	0,48	19,54	-0,27
0:19:50	0,47	19,72	-0,28
0:20:00	0,47	19,89	-0,28
Překročeno max. smykové posunutí 20 mm			

## Príloha 3 - Záznam z čepustovej (krabicovej) skúšky vlhkost' 0,00% zaťaženie 200 kPa

Názov úlohy	Bakalárska práca		
Vlhkosť	0,00%		
Číslo merania	3		
Dátum skúšky	27.3.2017		
Rýchlosť posunu	1mm/min		
Rozmer krabice	100 mm x 100 mm		
Výška vzorku	20 mm		
Normálové napätie $\sigma$	200 kPa		
Čas	Smyková sila	Smykové posunutie	Normálová deformácia
0:00:01	0	0	0
0:00:11	0,1	0,06	0
0:00:21	0,32	0,17	0,01
0:00:31	0,5	0,31	0,01
0:00:41	0,64	0,45	0,02
0:00:51	0,75	0,59	0,02
0:01:01	0,85	0,74	0,02
0:01:11	0,93	0,88	0,02
0:01:21	0,99	1,02	0,02
0:01:31	1,05	1,16	0,03
0:01:41	1,11	1,31	0,03
0:01:51	1,17	1,45	0,03
0:02:01	1,22	1,6	0,03
0:02:11	1,27	1,74	0,03
0:02:21	1,3	1,9	0,03
0:02:31	1,34	2,05	0,03
0:02:41	1,38	2,2	0,03
0:02:51	1,4	2,36	0,03
0:03:01	1,44	2,52	0,04
0:03:11	1,47	2,68	0,04
0:03:21	1,5	2,84	0,04
0:03:31	1,53	3,01	0,04
0:03:41	1,56	3,17	0,04
0:03:51	1,59	3,33	0,04
0:04:01	1,6	3,5	0,04
0:04:11	1,63	3,67	0,05
0:04:21	1,64	3,84	0,05
0:04:31	1,65	4	0,05
0:04:41	1,66	4,18	0,05
0:04:51	1,67	4,35	0,05
0:05:01	1,67	4,52	0,05
0:05:11	1,67	4,69	0,06
0:05:21	1,67	4,85	0,06
0:05:31	1,68	5,03	0,06
0:05:41	1,68	5,19	0,06
0:05:51	1,68	5,35	0,06
0:06:01	1,69	5,5	0,06
0:06:11	1,69	5,67	0,06
0:06:21	1,7	5,83	0,06
0:06:31	1,7	5,98	0,06
0:06:41	1,71	6,14	0,06
0:06:51	1,71	6,3	0,06

0:07:01	1,71	6,46	0,06
0:07:11	1,72	6,62	0,06
0:07:21	1,72	6,78	0,06
0:07:31	1,73	6,95	0,06
0:07:41	1,73	7,11	0,06
0:07:51	1,74	7,27	0,06
0:08:01	1,75	7,44	0,06
0:08:11	1,75	7,61	0,06
0:08:21	1,75	7,78	0,06
0:08:31	1,75	7,95	0,06
0:08:41	1,75	8,13	0,06
0:08:51	1,75	8,3	0,06
0:09:01	1,76	8,47	0,06
0:09:11	1,76	8,65	0,06
0:09:21	1,76	8,82	0,06
0:09:31	1,76	8,99	0,06
0:09:41	1,76	9,16	0,06
0:09:51	1,76	9,34	0,06
0:10:01	1,75	9,52	0,06
0:10:11	1,75	9,69	0,06
0:10:21	1,75	9,86	0,06
0:10:31	1,75	10,03	0,06
0:10:41	1,74	10,2	0,06
0:10:51	1,74	10,36	0,06
0:11:01	1,73	10,53	0,06
0:11:11	1,73	10,69	0,06
0:11:21	1,66	10,87	0,06
0:11:31	1,27	11,14	0,05
0:11:41	1,22	11,33	0,05
0:11:51	1,2	11,51	0,05
0:12:01	1,18	11,69	0,05
0:12:11	1,15	11,87	0,05
0:12:21	1,15	12,03	0,04
0:12:31	1,13	12,2	0,04
0:12:41	1,13	12,37	0,04
0:12:51	1,11	12,55	0,04
0:13:01	1,09	12,72	0,04
0:13:11	1,08	12,89	0,04
0:13:21	1,07	13,06	0,04
0:13:31	1,06	13,23	0,04
0:13:41	1,06	13,4	0,03
0:13:51	1,03	13,57	0,03
0:14:01	1,04	13,74	0,01
0:14:11	1,01	13,93	0
0:14:21	1,02	14,09	0
0:14:31	1	14,26	-0,02
0:14:41	1	14,44	-0,03
0:14:51	0,99	14,62	-0,05

0:15:01	0,98	14,79	-0,07
0:15:11	0,97	14,95	-0,08
0:15:21	0,97	15,12	-0,09
0:15:31	0,97	15,29	-0,11
0:15:41	0,96	15,45	-0,11
0:15:51	0,96	15,62	-0,12
0:16:01	0,96	15,78	-0,14
0:16:11	0,94	15,95	-0,15
0:16:21	0,93	16,12	-0,17
0:16:31	0,94	16,28	-0,17
0:16:41	0,93	16,45	-0,18
0:16:51	0,92	16,62	-0,2
0:17:01	0,91	16,79	-0,21
0:17:11	0,92	16,95	-0,22
0:17:21	0,92	17,12	-0,23
0:17:31	0,92	17,29	-0,25
0:17:41	0,91	17,46	-0,26
0:17:51	0,9	17,63	-0,28
0:18:01	0,91	17,8	-0,28
0:18:11	0,91	17,97	-0,3
0:18:21	0,92	18,13	-0,31
0:18:31	0,91	18,3	-0,32
0:18:41	0,92	18,47	-0,33
0:18:51	0,91	18,64	-0,35
0:19:01	0,91	18,81	-0,36
0:19:11	0,91	18,98	-0,37
0:19:21	0,91	19,15	-0,39
0:19:31	0,9	19,31	-0,41
0:19:41	0,91	19,48	-0,43
0:19:51	0,91	19,65	-0,43
0:20:01	0,91	19,82	-0,44
0:20:11	0,91	19,98	-0,45
Překročeno max. smykové posunutí 20 mm			



## Príloha 4 - Záznam z čepustovej (krabicovej) skúšky vlhkost' 12,68% zaťaženie 50 kPa

Názov úlohy	Bakalárska práca		
Vlhkosť	12,68%		
Číslo merania	1		
Dátum skúšky	27.3.2017		
Rýchlosť posunu	1mm/min		
Rozmer krabice	100 mm x 100 mm		
Výška vzorku	20 mm		
Normálové napätie $\sigma$	50 kPa		
Čas	Smyková sila	Smykové posunutie	Normálová deformácia
0:00:00	0	0	0
0:00:10	0,01	0,09	0
0:00:20	0,08	0,21	0
0:00:30	0,12	0,36	0
0:00:40	0,15	0,52	0
0:00:50	0,16	0,68	0
0:01:00	0,18	0,84	0
0:01:10	0,19	1,01	-0,01
0:01:20	0,2	1,17	-0,01
0:01:30	0,21	1,33	-0,01
0:01:40	0,22	1,49	-0,01
0:01:50	0,23	1,66	-0,01
0:02:00	0,23	1,82	-0,01
0:02:10	0,24	1,98	-0,01
0:02:20	0,24	2,14	-0,01
0:02:30	0,24	2,29	-0,01
0:02:40	0,25	2,45	-0,01
0:02:50	0,25	2,61	-0,01
0:03:00	0,26	2,78	-0,01
0:03:10	0,26	2,95	-0,01
0:03:20	0,26	3,12	-0,01
0:03:30	0,27	3,28	-0,01
0:03:40	0,27	3,45	-0,01
0:03:50	0,27	3,62	-0,01
0:04:00	0,28	3,79	-0,01
0:04:10	0,28	3,95	-0,01
0:04:20	0,28	4,12	-0,01
0:04:30	0,28	4,29	-0,01
0:04:40	0,28	4,46	-0,01
0:04:50	0,29	4,63	-0,01
0:05:00	0,29	4,8	-0,01
0:05:10	0,29	4,98	-0,01
0:05:20	0,29	5,14	-0,01
0:05:30	0,29	5,32	-0,01
0:05:40	0,29	5,49	-0,01
0:05:50	0,29	5,66	-0,01
0:06:00	0,29	5,83	-0,01
0:06:10	0,29	6	-0,01
0:06:20	0,29	6,16	-0,01
0:06:30	0,3	6,32	-0,01
0:06:40	0,3	6,48	-0,01
0:06:50	0,3	6,64	-0,01

0:07:00	0,3	6,78	-0,01
0:07:10	0,31	6,94	-0,01
0:07:20	0,31	7,1	-0,01
0:07:30	0,31	7,27	-0,01
0:07:40	0,31	7,44	-0,01
0:07:50	0,31	7,6	-0,01
0:08:00	0,31	7,77	-0,01
0:08:10	0,31	7,94	-0,01
0:08:20	0,31	8,11	-0,01
0:08:30	0,31	8,28	-0,01
0:08:40	0,31	8,45	-0,01
0:08:50	0,31	8,62	-0,01
0:09:00	0,31	8,79	-0,01
0:09:10	0,31	8,96	-0,01
0:09:20	0,31	9,13	-0,01
0:09:30	0,31	9,3	-0,01
0:09:40	0,3	9,48	-0,01
0:09:50	0,31	9,65	-0,01
0:10:00	0,31	9,82	-0,01
0:10:10	0,3	10	-0,01
0:10:20	0,3	10,17	-0,01
0:10:30	0,3	10,34	-0,01
0:10:40	0,3	10,51	-0,01
0:10:50	0,3	10,68	-0,01
0:11:00	0,31	10,85	-0,01
0:11:10	0,31	11,02	-0,01
0:11:20	0,3	11,18	-0,01
0:11:30	0,3	11,35	-0,01
0:11:40	0,31	11,51	-0,01
0:11:50	0,31	11,66	-0,01
0:12:00	0,31	11,82	-0,01
0:12:10	0,31	11,97	-0,01
0:12:20	0,31	12,13	-0,01
0:12:30	0,31	12,29	-0,01
0:12:40	0,31	12,46	-0,01
0:12:50	0,31	12,63	-0,01
0:13:00	0,31	12,8	-0,01
0:13:10	0,31	12,97	-0,01
0:13:20	0,31	13,14	-0,01
0:13:30	0,31	13,3	-0,01
0:13:40	0,31	13,47	-0,01
0:13:50	0,31	13,64	-0,01
0:14:00	0,31	13,82	-0,01
0:14:10	0,31	13,99	-0,01
0:14:20	0,3	14,17	-0,01
0:14:30	0,3	14,34	-0,01
0:14:40	0,3	14,51	-0,01
0:14:50	0,3	14,68	-0,01

0:15:00	0,31	14,86	-0,01
0:15:10	0,31	15,03	-0,01
0:15:20	0,31	15,2	-0,01
0:15:30	0,31	15,37	-0,01
0:15:40	0,31	15,54	-0,01
0:15:50	0,3	15,71	-0,01
0:16:00	0,3	15,88	-0,01
0:16:10	0,3	16,04	-0,01
0:16:20	0,3	16,21	-0,01
0:16:30	0,31	16,38	-0,01
0:16:40	0,31	16,54	-0,01
0:16:50	0,31	16,7	-0,01
0:17:00	0,31	16,86	-0,01
0:17:10	0,31	17,02	-0,01
0:17:20	0,31	17,18	-0,01
0:17:30	0,31	17,34	-0,01
0:17:40	0,3	17,52	-0,01
0:17:50	0,31	17,68	-0,01
0:18:00	0,3	17,85	-0,01
0:18:10	0,3	18,02	-0,01
0:18:20	0,3	18,19	-0,01
0:18:30	0,3	18,36	-0,01
0:18:40	0,3	18,53	-0,01
0:18:50	0,3	18,71	-0,01
0:19:00	0,3	18,88	-0,01
0:19:10	0,3	19,05	-0,01
0:19:20	0,3	19,22	-0,01
0:19:30	0,3	19,39	-0,01
0:19:40	0,3	19,56	-0,01
0:19:50	0,3	19,73	-0,01
0:20:00	0,3	19,9	-0,01
Překročeno max. smykové posunutí 20 mm			

Príloha 5 - Záznam z čepustovej (krabicovej) skúšky vlhkost' 12,68% zaťaženie 100 kPa

Názov úlohy	Bakalárska práca		
Vlhkosť	12,68%		
Číslo merania	2		
Dátum skúšky	27.3.2017		
Rýchlosť posunu	1mm/min		
Rozmer krabice	100 mm x 100 mm		
Výška vzorku	20 mm		
Normálové napätie $\sigma$	100 kPa		
Čas	Smyková sila	Smykové posunutie	Normálová deformácia
0:00:00	0	0	0
0:00:10	0,07	0,08	0
0:00:20	0,21	0,2	-0,01
0:00:30	0,29	0,35	-0,01
0:00:40	0,34	0,51	-0,01
0:00:50	0,37	0,68	-0,01
0:01:00	0,39	0,84	-0,01
0:01:10	0,41	1	-0,01
0:01:20	0,43	1,17	-0,01
0:01:30	0,44	1,33	-0,01
0:01:40	0,45	1,5	-0,01
0:01:50	0,46	1,66	-0,01
0:02:00	0,47	1,83	-0,01
0:02:10	0,47	1,98	-0,01
0:02:20	0,47	2,14	-0,01
0:02:30	0,48	2,31	-0,01
0:02:40	0,49	2,48	-0,01
0:02:50	0,49	2,64	-0,01
0:03:00	0,5	2,81	-0,01
0:03:10	0,51	2,97	-0,01
0:03:20	0,51	3,14	-0,01
0:03:30	0,52	3,3	-0,01
0:03:40	0,52	3,46	-0,01
0:03:50	0,53	3,64	-0,01
0:04:00	0,53	3,8	-0,01
0:04:10	0,53	3,96	-0,01
0:04:20	0,54	4,13	-0,01
0:04:30	0,54	4,3	-0,01
0:04:40	0,54	4,47	-0,01
0:04:50	0,55	4,64	-0,01
0:05:00	0,55	4,81	-0,01
0:05:10	0,55	4,98	-0,01
0:05:20	0,55	5,15	-0,01
0:05:30	0,55	5,32	-0,01
0:05:40	0,55	5,48	-0,01
0:05:50	0,56	5,65	-0,02
0:06:00	0,56	5,81	-0,02
0:06:10	0,56	5,98	-0,02
0:06:20	0,57	6,13	-0,02
0:06:30	0,57	6,3	-0,02
0:06:40	0,57	6,46	-0,02
0:06:50	0,57	6,63	-0,02

0:07:00	0,57	6,79	-0,02
0:07:10	0,58	6,95	-0,02
0:07:20	0,58	7,11	-0,02
0:07:30	0,58	7,27	-0,02
0:07:40	0,58	7,43	-0,02
0:07:50	0,58	7,6	-0,02
0:08:00	0,58	7,76	-0,02
0:08:10	0,58	7,93	-0,02
0:08:20	0,58	8,1	-0,02
0:08:30	0,58	8,27	-0,02
0:08:40	0,58	8,43	-0,02
0:08:50	0,58	8,6	-0,02
0:09:00	0,57	8,77	-0,02
0:09:10	0,58	8,94	-0,02
0:09:20	0,58	9,11	-0,02
0:09:30	0,58	9,28	-0,02
0:09:40	0,58	9,46	-0,02
0:09:50	0,58	9,64	-0,02
0:10:00	0,58	9,82	-0,02
0:10:10	0,58	9,99	-0,02
0:10:20	0,59	10,16	-0,02
0:10:30	0,59	10,33	-0,02
0:10:40	0,58	10,5	-0,02
0:10:50	0,59	10,66	-0,02
0:11:00	0,59	10,82	-0,02
0:11:10	0,58	10,98	-0,02
0:11:20	0,59	11,14	-0,02
0:11:30	0,59	11,3	-0,02
0:11:40	0,59	11,47	-0,02
0:11:50	0,59	11,63	-0,02
0:12:00	0,59	11,8	-0,02
0:12:10	0,59	11,96	-0,02
0:12:20	0,59	12,12	-0,02
0:12:30	0,59	12,28	-0,02
0:12:40	0,59	12,44	-0,02
0:12:50	0,59	12,61	-0,02
0:13:00	0,59	12,77	-0,02
0:13:10	0,59	12,94	-0,02
0:13:20	0,59	13,11	-0,02
0:13:30	0,59	13,28	-0,02
0:13:40	0,58	13,44	-0,02
0:13:50	0,58	13,62	-0,02
0:14:00	0,58	13,79	-0,02
0:14:10	0,58	13,96	-0,02
0:14:20	0,58	14,12	-0,02
0:14:30	0,58	14,3	-0,02
0:14:40	0,58	14,49	-0,02
0:14:50	0,58	14,67	-0,02

0:15:00	0,58	14,84	-0,02
0:15:10	0,58	15,01	-0,02
0:15:20	0,58	15,18	-0,02
0:15:30	0,58	15,35	-0,02
0:15:40	0,59	15,52	-0,02
0:15:50	0,58	15,68	-0,02
0:16:00	0,58	15,85	-0,02
0:16:10	0,58	16,01	-0,02
0:16:20	0,58	16,18	-0,02
0:16:30	0,58	16,33	-0,02
0:16:40	0,58	16,49	-0,02
0:16:50	0,58	16,66	-0,02
0:17:00	0,58	16,82	-0,02
0:17:10	0,58	16,99	-0,02
0:17:20	0,58	17,15	-0,02
0:17:30	0,58	17,32	-0,02
0:17:40	0,58	17,49	-0,02
0:17:50	0,58	17,65	-0,02
0:18:00	0,58	17,82	-0,02
0:18:10	0,57	17,99	-0,02
0:18:20	0,57	18,15	-0,02
0:18:30	0,57	18,32	-0,02
0:18:40	0,57	18,49	-0,02
0:18:50	0,57	18,66	-0,02
0:19:00	0,57	18,84	-0,02
0:19:10	0,57	19,01	-0,02
0:19:20	0,57	19,18	-0,02
0:19:30	0,58	19,36	-0,02
0:19:40	0,58	19,53	-0,02
0:19:50	0,58	19,7	-0,02
0:20:00	0,57	19,87	-0,02
Překročeno max. smykové posunutí 20 mm			

Príloha 6 - Záznam z čepustovej (krabicovej) skúšky vlhkost' 12,68% zaťaženie 200 kPa

Názov úlohy	Bakalárska práca		
Vlhkosť	12,68%		
Číslo merania	3		
Dátum skúšky	27.3.2017		
Rýchlosť posunu	1mm/min		
Rozmer krabice	100 mm x 100 mm		
Výška vzorku	20 mm		
Normálové napätie $\sigma$	200 kPa		
Čas	Smyková sila	Smykové posunutie	Normálová deformácia
0:00:01	0	0	0
0:00:11	0	0,1	0
0:00:21	0,08	0,22	0
0:00:31	0,28	0,34	0
0:00:41	0,42	0,49	0
0:00:51	0,53	0,64	0
0:01:01	0,6	0,8	0
0:01:11	0,66	0,96	0
0:01:21	0,7	1,12	0
0:01:31	0,74	1,28	-0,01
0:01:41	0,77	1,44	-0,01
0:01:51	0,79	1,6	-0,01
0:02:01	0,81	1,76	-0,01
0:02:11	0,82	1,93	-0,01
0:02:21	0,84	2,09	-0,01
0:02:31	0,86	2,25	-0,01
0:02:41	0,87	2,42	-0,01
0:02:51	0,89	2,58	-0,01
0:03:01	0,9	2,75	-0,01
0:03:11	0,92	2,91	-0,01
0:03:21	0,93	3,08	-0,01
0:03:31	0,94	3,24	-0,01
0:03:41	0,94	3,41	-0,01
0:03:51	0,96	3,58	-0,01
0:04:01	0,97	3,74	-0,01
0:04:11	0,98	3,91	-0,01
0:04:21	0,99	4,08	-0,01
0:04:31	1	4,24	-0,01
0:04:41	1	4,41	-0,01
0:04:51	1,01	4,58	-0,01
0:05:01	1,02	4,74	-0,01
0:05:11	1,02	4,91	-0,01
0:05:21	1,03	5,07	-0,01
0:05:31	1,03	5,23	-0,01
0:05:41	1,04	5,4	-0,01
0:05:51	1,04	5,56	-0,01
0:06:01	1,05	5,72	-0,01
0:06:11	1,05	5,88	-0,01
0:06:21	1,06	6,05	-0,01
0:06:31	1,06	6,21	-0,01
0:06:41	1,07	6,37	-0,01
0:06:51	1,07	6,54	-0,01

0:07:01	1,07	6,7	-0,01
0:07:11	1,08	6,87	-0,01
0:07:21	1,08	7,04	-0,01
0:07:31	1,08	7,21	-0,01
0:07:41	1,09	7,37	-0,01
0:07:51	1,09	7,54	-0,01
0:08:01	1,09	7,71	-0,01
0:08:11	1,09	7,88	-0,01
0:08:21	1,09	8,04	-0,01
0:08:31	1,1	8,21	-0,01
0:08:41	1,11	8,38	-0,01
0:08:51	1,11	8,55	-0,01
0:09:01	1,11	8,72	-0,01
0:09:11	1,11	8,89	-0,01
0:09:21	1,11	9,05	-0,01
0:09:31	1,11	9,22	-0,01
0:09:41	1,12	9,4	-0,01
0:09:51	1,12	9,56	-0,01
0:10:01	1,12	9,73	-0,01
0:10:11	1,12	9,9	-0,01
0:10:21	1,12	10,07	-0,01
0:10:31	1,11	10,23	-0,01
0:10:41	1,12	10,4	-0,01
0:10:51	1,12	10,56	-0,01
0:11:01	1,12	10,73	-0,01
0:11:11	1,11	10,89	-0,01
0:11:21	1,12	11,05	-0,01
0:11:31	1,11	11,21	-0,01
0:11:41	1,12	11,38	-0,01
0:11:51	1,12	11,54	-0,01
0:12:01	1,12	11,71	-0,01
0:12:11	1,12	11,87	-0,01
0:12:21	1,12	12,04	-0,01
0:12:31	1,12	12,2	-0,01
0:12:41	1,12	12,37	-0,01
0:12:51	1,12	12,54	-0,01
0:13:01	1,12	12,7	-0,01
0:13:11	1,12	12,86	-0,01
0:13:21	1,12	13,03	-0,01
0:13:31	1,12	13,19	-0,01
0:13:41	1,11	13,36	-0,01
0:13:51	1,11	13,53	-0,01
0:14:01	1,11	13,7	-0,01
0:14:11	1,1	13,88	-0,01
0:14:21	1,11	14,05	-0,01
0:14:31	1,1	14,22	-0,01
0:14:41	1,1	14,4	-0,01
0:14:51	1,09	14,58	-0,01



0:15:01	1,09	14,76	-0,01
0:15:11	1,09	14,93	-0,01
0:15:21	1,09	15,09	-0,01
0:15:31	1,09	15,26	-0,01
0:15:41	1,09	15,43	-0,01
0:15:51	1,09	15,59	-0,01
0:16:01	1,09	15,75	-0,01
0:16:11	1,1	15,92	-0,01
0:16:21	1,09	16,08	-0,01
0:16:31	1,09	16,24	-0,01
0:16:41	1,09	16,4	-0,01
0:16:51	1,09	16,57	-0,01
0:17:01	1,09	16,73	-0,01
0:17:11	1,09	16,9	-0,01
0:17:21	1,09	17,07	-0,01
0:17:31	1,09	17,23	-0,01
0:17:41	1,09	17,4	-0,01
0:17:51	1,09	17,57	-0,01
0:18:01	1,09	17,74	-0,01
0:18:11	1,09	17,91	-0,01
0:18:21	1,08	18,08	-0,01
0:18:31	1,08	18,25	-0,01
0:18:41	1,08	18,42	-0,01
0:18:51	1,08	18,59	-0,01
0:19:01	1,08	18,76	-0,01
0:19:11	1,08	18,93	-0,01
0:19:21	1,08	19,1	-0,01
0:19:31	1,08	19,27	-0,01
0:19:41	1,08	19,44	-0,01
0:19:51	1,08	19,62	-0,01
0:20:01	1,08	19,79	-0,01
0:20:11	1,08	19,95	-0,01
Překročeno max. smykové posunutí 20 mm			

## Príloha 7 - Záznam z čeľusťovej (krabicovej) skúšky vlhkosť 23,67% zaťaženie 50 kPa

Názov úlohy	Bakalárska práca		
Vlhkosť	23,67%		
Číslo merania	1		
Dátum skúšky	28.3.2017		
Rýchlosť posunu	1mm/min		
Rozmer krabice	100 mm x 100 mm		
Výška vzorku	20 mm		
Normálové napätie $\sigma$	50 kPa		
Čas	Šmyková sila	Šmykové posunutie	Normálová deformácia
0:00:01	0	0	0
0:00:11	0,07	0,08	0,01
0:00:21	0,14	0,22	0,01
0:00:31	0,18	0,38	0,01
0:00:41	0,22	0,53	0,01
0:00:51	0,25	0,69	0,01
0:01:01	0,27	0,85	0,01
0:01:11	0,28	1,01	0,01
0:01:21	0,29	1,16	0,01
0:01:31	0,3	1,32	0,01
0:01:41	0,31	1,48	0,01
0:01:51	0,32	1,64	0,01
0:02:01	0,33	1,79	0,01
0:02:11	0,33	1,95	0,01
0:02:21	0,34	2,1	0,01
0:02:31	0,35	2,26	0,01
0:02:41	0,36	2,42	0,01
0:02:51	0,36	2,58	0,01
0:03:01	0,37	2,74	0,01
0:03:11	0,37	2,91	0,01
0:03:21	0,38	3,07	0,01
0:03:31	0,38	3,24	0,01
0:03:41	0,39	3,41	0,01
0:03:51	0,39	3,57	0,02
0:04:01	0,4	3,73	0,02
0:04:11	0,4	3,9	0,02
0:04:21	0,41	4,07	0,02
0:04:31	0,41	4,23	0,02
0:04:41	0,42	4,4	0,02
0:04:51	0,42	4,57	0,02
0:05:01	0,43	4,74	0,02
0:05:11	0,43	4,91	0,03
0:05:21	0,44	5,09	0,03
0:05:31	0,44	5,27	0,03
0:05:41	0,45	5,43	0,03
0:05:51	0,45	5,61	0,04
0:06:01	0,46	5,78	0,05
0:06:11	0,46	5,93	0,06
0:06:21	0,47	6,1	0,06
0:06:31	0,47	6,25	0,07
0:06:41	0,48	6,42	0,07
0:06:51	0,48	6,58	0,07

0:07:01	0,49	6,73	0,07
0:07:11	0,49	6,89	0,07
0:07:21	0,5	7,05	0,07
0:07:31	0,5	7,22	0,07
0:07:41	0,51	7,38	0,08
0:07:51	0,51	7,54	0,08
0:08:01	0,51	7,71	0,08
0:08:11	0,51	7,88	0,08
0:08:21	0,51	8,04	0,08
0:08:31	0,52	8,21	0,08
0:08:41	0,52	8,38	0,08
0:08:51	0,52	8,55	0,08
0:09:01	0,52	8,72	0,08
0:09:11	0,52	8,89	0,08
0:09:21	0,52	9,06	0,08
0:09:31	0,52	9,23	0,08
0:09:41	0,52	9,41	0,08
0:09:51	0,52	9,58	0,08
0:10:01	0,52	9,76	0,08
0:10:11	0,52	9,95	0,08
0:10:21	0,52	10,13	0,08
0:10:31	0,52	10,3	0,08
0:10:41	0,52	10,48	0,08
0:10:51	0,51	10,65	0,08
0:11:01	0,51	10,82	0,08
0:11:11	0,48	10,99	0,08
0:11:21	0,46	11,17	0,08
0:11:31	0,45	11,34	0,08
0:11:41	0,45	11,5	0,08
0:11:51	0,4	11,68	0,08
0:12:01	0,35	11,87	0,07
0:12:11	0,34	12,04	0,07
0:12:21	0,32	12,22	0,07
0:12:31	0,32	12,39	0,07
0:12:41	0,31	12,56	0,07
0:12:51	0,3	12,73	0,07
0:13:01	0,29	12,9	0,07
0:13:11	0,29	13,07	0,07
0:13:21	0,28	13,25	0,07
0:13:31	0,27	13,42	0,07
0:13:41	0,27	13,59	0,07
0:13:51	0,26	13,75	0,07
0:14:01	0,26	13,92	0,07
0:14:11	0,25	14,09	0,07
0:14:21	0,24	14,26	0,07
0:14:31	0,23	14,42	0,06
0:14:41	0,23	14,59	0,06
0:14:51	0,22	14,76	0,06

0:15:01	0,21	14,93	0,06
0:15:11	0,21	15,09	0,06
0:15:21	0,21	15,26	0,06
0:15:31	0,21	15,43	0,05
0:15:41	0,2	15,59	0,04
0:15:51	0,2	15,76	0,02
0:16:01	0,2	15,93	0,02
0:16:11	0,2	16,11	0,02
0:16:21	0,2	16,27	0,01
0:16:31	0,19	16,44	0
0:16:41	0,19	16,61	-0,01
0:16:51	0,19	16,77	-0,02
0:17:01	0,19	16,94	-0,03
0:17:11	0,18	17,11	-0,03
0:17:21	0,19	17,28	-0,05
0:17:31	0,19	17,45	-0,06
0:17:41	0,19	17,63	-0,07
0:17:51	0,19	17,8	-0,08
0:18:01	0,19	17,97	-0,08
0:18:11	0,18	18,13	-0,09
0:18:21	0,18	18,3	-0,1
0:18:31	0,18	18,46	-0,11
0:18:41	0,18	18,63	-0,13
0:18:51	0,17	18,8	-0,15
0:19:01	0,16	18,97	-0,17
0:19:11	0,17	19,13	-0,18
0:19:21	0,17	19,29	-0,19
0:19:31	0,17	19,46	-0,2
0:19:41	0,18	19,63	-0,21
0:19:51	0,17	19,8	-0,22
0:20:01	0,17	19,96	-0,24
Překročeno max. smykové posunutí 20 mm			

## Príloha 8 - Záznam z čepustovej (krabicovej) skúšky vlhkost' 23,67% zaťaženie 100 kPa

Názov úlohy	Bakalárska práca		
Vlhkosť	23,67%		
Číslo merania	2		
Dátum skúšky	28.3.2017		
Rýchlosť posunu	1mm/min		
Rozmer krabice	100 mm x 100 mm		
Výška vzorku	20 mm		
Normálové napätie $\sigma$	100 kPa		
Čas	Smyková sila	Smykové posunutie	Normálová deformácia
0:00:01	0	0	0
0:00:11	0	0,12	0
0:00:21	0,05	0,26	0
0:00:31	0,18	0,38	-0,01
0:00:41	0,29	0,51	-0,01
0:00:51	0,35	0,67	-0,01
0:01:01	0,41	0,82	-0,01
0:01:11	0,45	0,98	-0,01
0:01:21	0,49	1,13	-0,01
0:01:31	0,54	1,28	-0,01
0:01:41	0,57	1,43	-0,01
0:01:51	0,6	1,59	-0,01
0:02:01	0,62	1,75	-0,01
0:02:11	0,64	1,91	-0,01
0:02:21	0,66	2,07	-0,01
0:02:31	0,68	2,23	-0,01
0:02:41	0,69	2,39	-0,01
0:02:51	0,7	2,55	-0,01
0:03:01	0,71	2,71	-0,01
0:03:11	0,72	2,86	-0,01
0:03:21	0,73	3,03	-0,01
0:03:31	0,73	3,19	-0,01
0:03:41	0,74	3,35	-0,01
0:03:51	0,74	3,52	-0,01
0:04:01	0,75	3,68	-0,01
0:04:11	0,75	3,85	-0,01
0:04:21	0,76	4,01	-0,01
0:04:31	0,76	4,18	-0,01
0:04:41	0,77	4,35	-0,01
0:04:51	0,77	4,52	-0,01
0:05:01	0,77	4,69	-0,01
0:05:11	0,78	4,86	0
0:05:21	0,78	5,04	0
0:05:31	0,78	5,22	0
0:05:41	0,79	5,4	0
0:05:51	0,78	5,56	0
0:06:01	0,78	5,73	0
0:06:11	0,79	5,89	0
0:06:21	0,79	6,05	0
0:06:31	0,79	6,21	0
0:06:41	0,79	6,37	0
0:06:51	0,79	6,52	0

0:07:01	0,79	6,67	0
0:07:11	0,79	6,83	0
0:07:21	0,79	6,99	0
0:07:31	0,78	7,15	0
0:07:41	0,78	7,31	0
0:07:51	0,78	7,48	0
0:08:01	0,77	7,64	0
0:08:11	0,77	7,81	0
0:08:21	0,76	7,98	0
0:08:31	0,76	8,15	0
0:08:41	0,75	8,32	0
0:08:51	0,75	8,49	0
0:09:01	0,74	8,66	0
0:09:11	0,74	8,83	0
0:09:21	0,73	9,01	0
0:09:31	0,73	9,17	0
0:09:41	0,73	9,35	0
0:09:51	0,72	9,53	0
0:10:01	0,72	9,71	0
0:10:11	0,72	9,88	0
0:10:21	0,72	10,07	0
0:10:31	0,71	10,26	0
0:10:41	0,71	10,44	0
0:10:51	0,71	10,6	0
0:11:01	0,71	10,77	0
0:11:11	0,71	10,93	0
0:11:21	0,71	11,1	0
0:11:31	0,68	11,27	0
0:11:41	0,67	11,45	0
0:11:51	0,66	11,61	0
0:12:01	0,66	11,77	0
0:12:11	0,66	11,95	0
0:12:21	0,65	12,12	0
0:12:31	0,65	12,29	0
0:12:41	0,58	12,49	-0,01
0:12:51	0,56	12,66	-0,01
0:13:01	0,56	12,83	-0,01
0:13:11	0,56	13,01	-0,01
0:13:21	0,55	13,18	-0,01
0:13:31	0,53	13,35	-0,01
0:13:41	0,54	13,51	-0,01
0:13:51	0,53	13,68	-0,01
0:14:01	0,52	13,85	-0,01
0:14:11	0,5	14,02	-0,01
0:14:21	0,5	14,19	-0,03
0:14:31	0,51	14,35	-0,03
0:14:41	0,51	14,52	-0,04
0:14:51	0,51	14,69	-0,05

0:15:01	0,5	14,85	-0,07
0:15:11	0,49	15,02	-0,08
0:15:21	0,49	15,19	-0,09
0:15:31	0,49	15,35	-0,11
0:15:41	0,49	15,52	-0,13
0:15:51	0,5	15,69	-0,14
0:16:01	0,49	15,86	-0,15
0:16:11	0,48	16,03	-0,16
0:16:21	0,48	16,19	-0,18
0:16:31	0,48	16,37	-0,2
0:16:41	0,48	16,53	-0,21
0:16:51	0,49	16,69	-0,23
0:17:01	0,48	16,86	-0,25
0:17:11	0,49	17,03	-0,26
0:17:21	0,49	17,2	-0,27
0:17:31	0,49	17,37	-0,29
0:17:41	0,48	17,54	-0,31
0:17:51	0,46	17,71	-0,33
0:18:01	0,45	17,88	-0,36
0:18:11	0,46	18,05	-0,37
0:18:21	0,47	18,21	-0,37
0:18:31	0,47	18,38	-0,4
0:18:41	0,47	18,55	-0,42
0:18:51	0,47	18,71	-0,44
0:19:01	0,47	18,88	-0,46
0:19:11	0,47	19,05	-0,48
0:19:21	0,48	19,21	-0,5
0:19:31	0,48	19,38	-0,5
0:19:41	0,48	19,55	-0,52
0:19:51	0,47	19,72	-0,54
0:20:01	0,47	19,88	-0,57
Překročeno max. smykové posunutí 20 mm			

## Príloha 9 - Záznam z čeľusťovej (krabicovej) skúšky vlhkosť 23,67% zaťaženie 200 kPa

Názov úlohy	Bakalárska práca		
Vlhkosť	23,67%		
Číslo merania	3		
Dátum skúšky	28.3.2017		
Rýchlosť posunu	1mm/min		
Rozmer krabice	100 mm x 100 mm		
Výška vzorku	20 mm		
Normálové napätie $\sigma$	200 kPa		
Čas	Šmyková sila	Šmykové posunutie	Normálová deformácia
0:00:01	0	0	0
0:00:11	0	0,07	0
0:00:21	0	0,23	0
0:00:31	0,12	0,35	0
0:00:41	0,32	0,48	0,01
0:00:51	0,5	0,62	0,01
0:01:01	0,64	0,77	0,01
0:01:11	0,76	0,92	0,01
0:01:21	0,85	1,07	0,01
0:01:31	0,93	1,23	0,01
0:01:41	0,99	1,37	0,01
0:01:51	1,06	1,52	0,01
0:02:01	1,12	1,67	0,01
0:02:11	1,16	1,83	0,01
0:02:21	1,21	1,98	0,01
0:02:31	1,26	2,13	0,01
0:02:41	1,3	2,29	0,01
0:02:51	1,33	2,45	0,01
0:03:01	1,35	2,6	0,01
0:03:11	1,38	2,75	0,01
0:03:21	1,4	2,91	0,02
0:03:31	1,43	3,07	0,02
0:03:41	1,44	3,24	0,02
0:03:51	1,45	3,41	0,02
0:04:01	1,46	3,58	0,02
0:04:11	1,48	3,74	0,02
0:04:21	1,49	3,91	0,02
0:04:31	1,49	4,08	0,02
0:04:41	1,49	4,25	0,02
0:04:51	1,5	4,42	0,02
0:05:01	1,52	4,59	0,02
0:05:11	1,52	4,77	0,02
0:05:21	1,53	4,95	0,02
0:05:31	1,53	5,11	0,02
0:05:41	1,54	5,28	0,02
0:05:51	1,55	5,44	0,02
0:06:01	1,56	5,6	0,03
0:06:11	1,56	5,76	0,03
0:06:21	1,57	5,92	0,03
0:06:31	1,57	6,07	0,03
0:06:41	1,57	6,23	0,03
0:06:51	1,58	6,37	0,03



0:07:01	1,58	6,53	0,03
0:07:11	1,58	6,68	0,03
0:07:21	1,59	6,83	0,03
0:07:31	1,6	6,99	0,03
0:07:41	1,59	7,15	0,03
0:07:51	1,59	7,32	0,03
0:08:01	1,59	7,49	0,03
0:08:11	1,59	7,65	0,03
0:08:21	1,6	7,82	0,03
0:08:31	1,6	7,99	0,03
0:08:41	1,6	8,16	0,03
0:08:51	1,6	8,33	0,03
0:09:01	1,59	8,51	0,03
0:09:11	1,58	8,68	0,03
0:09:21	1,57	8,85	0,03
0:09:31	1,56	9,03	0,03
0:09:41	1,55	9,21	0,03
0:09:51	1,52	9,4	0,03
0:10:01	1,5	9,58	0,03
0:10:11	1,48	9,76	0,03
0:10:21	1,46	9,96	0,03
0:10:31	1,44	10,14	0,03
0:10:41	1,43	10,31	0,03
0:10:51	1,42	10,48	0,03
0:11:01	1,41	10,65	0,03
0:11:11	1,37	10,83	0,03
0:11:21	1,37	10,99	0,03
0:11:31	1,28	11,17	0,03
0:11:41	1,27	11,35	0,03
0:11:51	1,13	11,54	0,03
0:12:01	1,05	11,73	0,03
0:12:11	1,02	11,91	0,03
0:12:21	1,02	12,07	0,03
0:12:31	1,01	12,24	0,02
0:12:41	1,02	12,41	0,02
0:12:51	1	12,58	0,02
0:13:01	0,99	12,75	0,02
0:13:11	1	12,92	0,02
0:13:21	0,99	13,09	0,02
0:13:31	0,99	13,26	0,02
0:13:41	0,99	13,43	0,02
0:13:51	0,98	13,6	0,02
0:14:01	0,96	13,77	0,02
0:14:11	0,96	13,94	0,01
0:14:21	0,96	14,11	0
0:14:31	0,97	14,28	0
0:14:41	0,97	14,44	-0,02
0:14:51	0,98	14,61	-0,03

0:15:01	0,97	14,78	-0,04
0:15:11	0,95	14,95	-0,06
0:15:21	0,95	15,11	-0,07
0:15:31	0,95	15,28	-0,08
0:15:41	0,94	15,45	-0,1
0:15:51	0,93	15,62	-0,11
0:16:01	0,92	15,78	-0,12
0:16:11	0,9	15,95	-0,14
0:16:21	0,91	16,11	-0,16
0:16:31	0,92	16,28	-0,17
0:16:41	0,92	16,45	-0,18
0:16:51	0,91	16,62	-0,2
0:17:01	0,91	16,78	-0,22
0:17:11	0,91	16,95	-0,23
0:17:21	0,9	17,12	-0,24
0:17:31	0,9	17,29	-0,26
0:17:41	0,89	17,46	-0,28
0:17:51	0,89	17,63	-0,29
0:18:01	0,9	17,8	-0,31
0:18:11	0,9	17,96	-0,33
0:18:21	0,9	18,13	-0,36
0:18:31	0,91	18,29	-0,38
0:18:41	0,92	18,46	-0,4
0:18:51	0,9	18,63	-0,42
0:19:01	0,9	18,8	-0,44
0:19:11	0,91	18,97	-0,46
0:19:21	0,91	19,13	-0,48
0:19:31	0,92	19,3	-0,5
0:19:41	0,93	19,47	-0,51
0:19:51	0,92	19,64	-0,53
0:20:01	0,92	19,81	-0,55
0:20:11	0,92	19,97	-0,57

Překročeno max. smykové posunutí 20 mm

## Príloha 10 - Záznam z čerustovej (krabicovej) skúšky vlhkost' 4,67% zaťaženie 50 kPa

Názov úlohy	Bakalárska práca		
Vlhkosť	4,67%		
Číslo merania	1		
Dátum skúšky	28.3.2017		
Rýchlosť posunu	1mm/min		
Rozmer krabice	100 mm x 100 mm		
Výška vzorku	20 mm		
Normálové napätie $\sigma$	50 kPa		
Čas	Šmyková sila	Šmykové posunutie	Normálová deformácia
0:00:00	0	0	0
0:00:10	0,09	0,1	0
0:00:20	0,16	0,23	0
0:00:30	0,2	0,38	0
0:00:40	0,22	0,55	0
0:00:50	0,24	0,71	0
0:01:00	0,25	0,87	0
0:01:10	0,26	1,04	0
0:01:20	0,27	1,2	0
0:01:30	0,28	1,36	0
0:01:40	0,29	1,53	0
0:01:50	0,29	1,69	0
0:02:00	0,3	1,84	-0,01
0:02:10	0,3	2	-0,01
0:02:20	0,31	2,17	-0,01
0:02:30	0,31	2,34	-0,01
0:02:40	0,32	2,51	-0,01
0:02:50	0,32	2,68	-0,01
0:03:00	0,32	2,85	-0,01
0:03:10	0,32	3,01	-0,01
0:03:20	0,33	3,18	-0,01
0:03:30	0,33	3,35	-0,01
0:03:40	0,33	3,51	-0,01
0:03:50	0,33	3,68	-0,01
0:04:00	0,33	3,85	-0,01
0:04:10	0,33	4,01	-0,01
0:04:20	0,34	4,18	-0,01
0:04:30	0,34	4,35	-0,01
0:04:40	0,34	4,52	-0,01
0:04:50	0,34	4,68	-0,01
0:05:00	0,34	4,86	-0,01
0:05:10	0,34	5,03	-0,01
0:05:20	0,34	5,2	-0,01
0:05:30	0,34	5,36	-0,01
0:05:40	0,35	5,53	-0,01
0:05:50	0,35	5,69	-0,01
0:06:00	0,35	5,86	-0,01
0:06:10	0,36	6,01	-0,01
0:06:20	0,36	6,17	-0,01
0:06:30	0,37	6,33	-0,01
0:06:40	0,37	6,5	-0,01
0:06:50	0,37	6,66	-0,01

0:07:00	0,37	6,82	-0,01
0:07:10	0,37	6,98	-0,01
0:07:20	0,37	7,15	-0,01
0:07:30	0,37	7,31	-0,01
0:07:40	0,37	7,47	-0,01
0:07:50	0,38	7,64	-0,01
0:08:00	0,37	7,81	-0,01
0:08:10	0,37	7,98	-0,01
0:08:20	0,37	8,15	-0,01
0:08:30	0,37	8,31	-0,01
0:08:40	0,37	8,48	-0,01
0:08:50	0,37	8,65	-0,01
0:09:00	0,37	8,82	-0,01
0:09:10	0,37	8,99	-0,01
0:09:20	0,37	9,17	-0,01
0:09:30	0,37	9,35	-0,01
0:09:40	0,37	9,53	-0,01
0:09:50	0,37	9,7	-0,01
0:10:00	0,37	9,87	-0,01
0:10:10	0,37	10,04	-0,01
0:10:20	0,37	10,21	-0,01
0:10:30	0,37	10,37	-0,01
0:10:40	0,37	10,54	-0,01
0:10:50	0,37	10,71	-0,01
0:11:00	0,37	10,88	-0,01
0:11:10	0,37	11,04	-0,01
0:11:20	0,37	11,2	-0,01
0:11:30	0,37	11,35	-0,01
0:11:40	0,37	11,51	-0,01
0:11:50	0,37	11,68	-0,01
0:12:00	0,37	11,85	-0,01
0:12:10	0,37	12,01	-0,01
0:12:20	0,37	12,17	-0,01
0:12:30	0,37	12,33	-0,01
0:12:40	0,37	12,5	-0,01
0:12:50	0,37	12,67	-0,01
0:13:00	0,37	12,83	-0,01
0:13:10	0,37	13	-0,01
0:13:20	0,37	13,17	-0,01
0:13:30	0,36	13,34	-0,01
0:13:40	0,36	13,51	-0,01
0:13:50	0,36	13,68	-0,01
0:14:00	0,36	13,85	-0,01
0:14:10	0,36	14,02	-0,01
0:14:20	0,36	14,2	-0,01
0:14:30	0,36	14,38	-0,01
0:14:40	0,36	14,55	-0,01
0:14:50	0,36	14,72	-0,01

0:15:00	0,36	14,9	-0,01
0:15:10	0,36	15,06	-0,01
0:15:20	0,36	15,23	-0,01
0:15:30	0,36	15,4	-0,01
0:15:40	0,36	15,57	-0,01
0:15:50	0,36	15,74	-0,01
0:16:00	0,36	15,9	-0,01
0:16:10	0,36	16,07	-0,01
0:16:20	0,35	16,24	-0,01
0:16:30	0,36	16,4	-0,01
0:16:40	0,35	16,56	-0,01
0:16:50	0,36	16,71	-0,01
0:17:00	0,36	16,88	-0,01
0:17:10	0,36	17,05	-0,01
0:17:20	0,35	17,21	-0,01
0:17:30	0,35	17,38	-0,01
0:17:40	0,35	17,55	-0,01
0:17:50	0,35	17,72	-0,01
0:18:00	0,35	17,89	-0,01
0:18:10	0,35	18,06	-0,01
0:18:20	0,35	18,23	-0,01
0:18:30	0,35	18,4	-0,01
0:18:40	0,35	18,57	-0,01
0:18:50	0,35	18,74	-0,01
0:19:00	0,35	18,91	-0,01
0:19:10	0,35	19,07	-0,01
0:19:20	0,34	19,25	-0,01
0:19:30	0,34	19,42	-0,01
0:19:40	0,34	19,59	-0,01
0:19:50	0,34	19,75	-0,01
0:20:00	0,34	19,92	-0,01
Překročeno max. smykové posunutí 20 mm			

Príloha 11 -Záznam z čeľust'ovej (krabicovej) skúšky vlhkost' 4,67% zaťaženie 100 kPa

Názov úlohy	Bakalárska práca		
Vlhkosť	4,67%		
Číslo merania	2		
Dátum skúšky	28.3.2017		
Rýchlosť posunu	1mm/min		
Rozmer krabice	100 mm x 100 mm		
Výška vzorku	20 mm		
Normálové napätie $\sigma$	100 kPa		
Čas	Smyková sila	Smykové posunutie	Normálová deformácia
0:00:00	0	0	0
0:00:10	0	0,09	0
0:00:20	0	0,25	0
0:00:30	0	0,41	0
0:00:40	0,07	0,55	0
0:00:50	0,2	0,67	-0,01
0:01:00	0,27	0,82	-0,01
0:01:10	0,31	0,97	-0,01
0:01:20	0,35	1,13	-0,01
0:01:30	0,37	1,3	-0,01
0:01:40	0,39	1,46	-0,01
0:01:50	0,41	1,63	-0,01
0:02:00	0,42	1,79	-0,01
0:02:10	0,44	1,95	-0,01
0:02:20	0,45	2,12	-0,01
0:02:30	0,46	2,28	-0,01
0:02:40	0,46	2,44	-0,01
0:02:50	0,47	2,6	-0,01
0:03:00	0,47	2,76	-0,02
0:03:10	0,48	2,93	-0,02
0:03:20	0,49	3,09	-0,02
0:03:30	0,5	3,25	-0,02
0:03:40	0,51	3,42	-0,02
0:03:50	0,52	3,59	-0,02
0:04:00	0,52	3,75	-0,02
0:04:10	0,53	3,92	-0,02
0:04:20	0,53	4,08	-0,02
0:04:30	0,54	4,25	-0,02
0:04:40	0,54	4,41	-0,02
0:04:50	0,54	4,58	-0,02
0:05:00	0,55	4,75	-0,02
0:05:10	0,55	4,92	-0,02
0:05:20	0,56	5,09	-0,02
0:05:30	0,56	5,26	-0,02
0:05:40	0,56	5,43	-0,02
0:05:50	0,57	5,6	-0,02
0:06:00	0,57	5,77	-0,02
0:06:10	0,57	5,94	-0,02
0:06:20	0,57	6,1	-0,02
0:06:30	0,57	6,27	-0,02
0:06:40	0,57	6,43	-0,02
0:06:50	0,57	6,59	-0,02

0:07:00	0,58	6,75	-0,02
0:07:10	0,58	6,91	-0,02
0:07:20	0,58	7,07	-0,02
0:07:30	0,58	7,23	-0,02
0:07:40	0,58	7,39	-0,02
0:07:50	0,59	7,55	-0,02
0:08:00	0,59	7,71	-0,02
0:08:10	0,59	7,87	-0,02
0:08:20	0,59	8,04	-0,02
0:08:30	0,59	8,2	-0,02
0:08:40	0,59	8,37	-0,02
0:08:50	0,59	8,54	-0,02
0:09:00	0,59	8,71	-0,02
0:09:10	0,59	8,88	-0,02
0:09:20	0,59	9,05	-0,02
0:09:30	0,58	9,21	-0,02
0:09:40	0,59	9,38	-0,02
0:09:50	0,59	9,55	-0,02
0:10:00	0,59	9,73	-0,02
0:10:10	0,59	9,91	-0,02
0:10:20	0,58	10,09	-0,02
0:10:30	0,58	10,27	-0,02
0:10:40	0,58	10,45	-0,02
0:10:50	0,58	10,62	-0,02
0:11:00	0,58	10,79	-0,02
0:11:10	0,58	10,95	-0,02
0:11:20	0,58	11,12	-0,02
0:11:30	0,58	11,29	-0,02
0:11:40	0,58	11,45	-0,02
0:11:50	0,58	11,61	-0,02
0:12:00	0,58	11,76	-0,02
0:12:10	0,59	11,93	-0,02
0:12:20	0,59	12,09	-0,02
0:12:30	0,59	12,26	-0,02
0:12:40	0,59	12,41	-0,02
0:12:50	0,59	12,58	-0,02
0:13:00	0,58	12,73	-0,02
0:13:10	0,58	12,9	-0,02
0:13:20	0,58	13,06	-0,02
0:13:30	0,58	13,23	-0,02
0:13:40	0,58	13,4	-0,02
0:13:50	0,58	13,57	-0,02
0:14:00	0,58	13,74	-0,02
0:14:10	0,58	13,91	-0,02
0:14:20	0,58	14,07	-0,02
0:14:30	0,58	14,25	-0,02
0:14:40	0,58	14,41	-0,02
0:14:50	0,58	14,58	-0,02

0:15:00	0,58	14,76	-0,02
0:15:10	0,57	14,95	-0,02
0:15:20	0,57	15,13	-0,02
0:15:30	0,57	15,3	-0,02
0:15:40	0,57	15,47	-0,02
0:15:50	0,57	15,64	-0,02
0:16:00	0,57	15,81	-0,02
0:16:10	0,57	15,98	-0,02
0:16:20	0,57	16,14	-0,02
0:16:30	0,57	16,31	-0,02
0:16:40	0,57	16,48	-0,02
0:16:50	0,57	16,64	-0,02
0:17:00	0,57	16,81	-0,02
0:17:10	0,57	16,97	-0,02
0:17:20	0,57	17,12	-0,02
0:17:30	0,57	17,29	-0,02
0:17:40	0,57	17,45	-0,02
0:17:50	0,57	17,61	-0,02
0:18:00	0,57	17,79	-0,02
0:18:10	0,57	17,95	-0,02
0:18:20	0,57	18,12	-0,02
0:18:30	0,57	18,28	-0,02
0:18:40	0,57	18,45	-0,02
0:18:50	0,57	18,61	-0,02
0:19:00	0,57	18,78	-0,02
0:19:10	0,57	18,95	-0,02
0:19:20	0,57	19,12	-0,02
0:19:30	0,56	19,3	-0,02
0:19:40	0,56	19,47	-0,02
0:19:50	0,56	19,64	-0,02
0:20:00	0,57	19,81	-0,02
0:20:10	0,57	19,99	-0,02
Překročeno max. smykové posunutí 20 mm			



## Príloha 12 - Záznam z čerustovej (krabicovej) skúšky vlhkost' 4,67% zaťaženie 200 kPa

Názov úlohy	Bakalárska práca		
Vlhkosť	4,67%		
Číslo merania	3		
Dátum skúšky	28.3.2017		
Rýchlosť posunu	1mm/min		
Rozmer krabice	100 mm x 100 mm		
Výška vzorku	20 mm		
Normálové napätie $\sigma$	200 kPa		
Čas	Šmyková sila	Šmykové posunutie	Normálová deformácia
0:00:01	0	0	0
0:00:11	0,09	0,04	0
0:00:21	0,25	0,16	0
0:00:31	0,39	0,3	-0,01
0:00:41	0,49	0,45	-0,01
0:00:51	0,56	0,6	-0,02
0:01:01	0,63	0,76	-0,02
0:01:11	0,68	0,92	-0,02
0:01:21	0,72	1,08	-0,03
0:01:31	0,76	1,24	-0,03
0:01:41	0,79	1,4	-0,04
0:01:51	0,81	1,56	-0,04
0:02:01	0,84	1,72	-0,04
0:02:11	0,86	1,87	-0,04
0:02:21	0,88	2,03	-0,04
0:02:31	0,9	2,18	-0,05
0:02:41	0,92	2,34	-0,05
0:02:51	0,94	2,5	-0,05
0:03:01	0,95	2,66	-0,05
0:03:11	0,97	2,82	-0,05
0:03:21	0,98	2,98	-0,05
0:03:31	0,99	3,15	-0,05
0:03:41	1	3,31	-0,05
0:03:51	1,01	3,48	-0,05
0:04:01	1,02	3,65	-0,05
0:04:11	1,03	3,81	-0,05
0:04:21	1,04	3,98	-0,05
0:04:31	1,05	4,15	-0,05
0:04:41	1,05	4,31	-0,05
0:04:51	1,05	4,48	-0,05
0:05:01	1,06	4,65	-0,05
0:05:11	1,07	4,83	-0,05
0:05:21	1,07	5,01	-0,05
0:05:31	1,07	5,19	-0,05
0:05:41	1,07	5,36	-0,05
0:05:51	1,08	5,53	-0,05
0:06:01	1,08	5,7	-0,05
0:06:11	1,09	5,86	-0,06
0:06:21	1,09	6,02	-0,06
0:06:31	1,09	6,18	-0,06
0:06:41	1,09	6,35	-0,06
0:06:51	1,1	6,51	-0,06

0:07:01	1,1	6,66	-0,06
0:07:11	1,11	6,82	-0,06
0:07:21	1,1	6,97	-0,06
0:07:31	1,1	7,13	-0,06
0:07:41	1,11	7,29	-0,06
0:07:51	1,11	7,45	-0,06
0:08:01	1,11	7,62	-0,06
0:08:11	1,11	7,78	-0,06
0:08:21	1,11	7,94	-0,06
0:08:31	1,11	8,11	-0,06
0:08:41	1,11	8,28	-0,06
0:08:51	1,11	8,45	-0,06
0:09:01	1,11	8,62	-0,06
0:09:11	1,11	8,79	-0,06
0:09:21	1,1	8,96	-0,06
0:09:31	1,11	9,13	-0,06
0:09:41	1,11	9,3	-0,06
0:09:51	1,11	9,47	-0,06
0:10:01	1,1	9,66	-0,06
0:10:11	1,11	9,84	-0,06
0:10:21	1,11	10,02	-0,06
0:10:31	1,11	10,21	-0,06
0:10:41	1,12	10,38	-0,06
0:10:51	1,11	10,55	-0,06
0:11:01	1,11	10,71	-0,06
0:11:11	1,11	10,88	-0,06
0:11:21	1,11	11,04	-0,06
0:11:31	1,11	11,2	-0,06
0:11:41	1,11	11,37	-0,06
0:11:51	1,11	11,53	-0,06
0:12:01	1,11	11,69	-0,06
0:12:11	1,1	11,86	-0,06
0:12:21	1,1	12,02	-0,06
0:12:31	1,11	12,17	-0,06
0:12:41	1,11	12,33	-0,06
0:12:51	1,1	12,49	-0,06
0:13:01	1,1	12,65	-0,06
0:13:11	1,1	12,82	-0,06
0:13:21	1,1	12,98	-0,06
0:13:31	1,1	13,15	-0,06
0:13:41	1,1	13,32	-0,06
0:13:51	1,1	13,49	-0,06
0:14:01	1,09	13,66	-0,06
0:14:11	1,09	13,83	-0,06
0:14:21	1,09	14,01	-0,06
0:14:31	1,09	14,17	-0,06
0:14:41	1,09	14,35	-0,06
0:14:51	1,09	14,52	-0,06

0:15:01	1,08	14,7	-0,06
0:15:11	1,08	14,89	-0,06
0:15:21	1,08	15,07	-0,06
0:15:31	1,08	15,25	-0,06
0:15:41	1,08	15,42	-0,06
0:15:51	1,08	15,58	-0,06
0:16:01	1,07	15,75	-0,06
0:16:11	1,07	15,91	-0,06
0:16:21	1,07	16,07	-0,06
0:16:31	1,08	16,23	-0,06
0:16:41	1,08	16,4	-0,06
0:16:51	1,08	16,56	-0,06
0:17:01	1,08	16,72	-0,06
0:17:11	1,08	16,89	-0,06
0:17:21	1,07	17,05	-0,06
0:17:31	1,07	17,22	-0,06
0:17:41	1,07	17,38	-0,06
0:17:51	1,07	17,55	-0,06
0:18:01	1,07	17,71	-0,06
0:18:11	1,07	17,87	-0,06
0:18:21	1,06	18,04	-0,06
0:18:31	1,05	18,2	-0,06
0:18:41	1,06	18,36	-0,06
0:18:51	1,06	18,53	-0,06
0:19:01	1,06	18,7	-0,06
0:19:11	1,06	18,87	-0,06
0:19:21	1,06	19,04	-0,06
0:19:31	1,06	19,22	-0,06
0:19:41	1,06	19,39	-0,06
0:19:51	1,06	19,57	-0,06
0:20:01	1,06	19,75	-0,06
0:20:11	1,05	19,93	-0,06
Překročeno max. smykové posunutí 20 mm			

Príloha 13 - Záznam z čelustovej (krabicovej) skúšky vlhkosť 17,33% zaťaženie 50 kPa

Názov úlohy	Bakalárska práca		
Vlhkosť	17,33%		
Číslo merania	1		
Dátum skúšky	29.3.2017		
Rýchlosť posunu	1mm/min		
Rozmer krabice	100 mm x 100 mm		
Výška vzorku	20 mm		
Normálové napätie $\sigma$	50 kPa		
Čas	Šmyková sila	Šmykové posunutie	Normálová deformácia
0:00:00	0	0	0
0:00:10	0	0,11	0
0:00:20	0,04	0,25	0
0:00:30	0,06	0,4	0
0:00:40	0,07	0,56	-0,02
0:00:50	0,08	0,72	-0,05
0:01:00	0,09	0,88	-0,07
0:01:10	0,09	1,05	-0,09
0:01:20	0,09	1,21	-0,11
0:01:30	0,1	1,38	-0,13
0:01:40	0,1	1,54	-0,15
0:01:50	0,1	1,71	-0,17
0:02:00	0,11	1,87	-0,18
0:02:10	0,11	2,04	-0,2
0:02:20	0,11	2,21	-0,22
0:02:30	0,11	2,37	-0,23
0:02:40	0,11	2,54	-0,25
0:02:50	0,11	2,71	-0,26
0:03:00	0,12	2,88	-0,27
0:03:10	0,12	3,04	-0,29
0:03:20	0,12	3,2	-0,3
0:03:30	0,13	3,37	-0,31
0:03:40	0,13	3,53	-0,32
0:03:50	0,13	3,69	-0,33
0:04:00	0,13	3,86	-0,34
0:04:10	0,13	4,03	-0,35
0:04:20	0,13	4,19	-0,35
0:04:30	0,13	4,36	-0,36
0:04:40	0,13	4,53	-0,37
0:04:50	0,13	4,69	-0,37
0:05:00	0,13	4,86	-0,38
0:05:10	0,13	5,03	-0,39
0:05:20	0,13	5,19	-0,4
0:05:30	0,13	5,36	-0,4
0:05:40	0,13	5,53	-0,41
0:05:50	0,13	5,7	-0,41
0:06:00	0,13	5,87	-0,41
0:06:10	0,13	6,03	-0,41
0:06:20	0,13	6,2	-0,41
0:06:30	0,13	6,37	-0,41
0:06:40	0,13	6,53	-0,41
0:06:50	0,14	6,69	-0,41

0:07:00	0,14	6,86	-0,41
0:07:10	0,14	7,02	-0,41
0:07:20	0,14	7,18	-0,41
0:07:30	0,15	7,33	-0,41
0:07:40	0,15	7,5	-0,41
0:07:50	0,15	7,67	-0,41
0:08:00	0,15	7,84	-0,41
0:08:10	0,15	8,01	-0,41
0:08:20	0,15	8,18	-0,41
0:08:30	0,15	8,35	-0,41
0:08:40	0,14	8,51	-0,41
0:08:50	0,15	8,68	-0,42
0:09:00	0,15	8,85	-0,42
0:09:10	0,15	9,02	-0,42
0:09:20	0,15	9,19	-0,42
0:09:30	0,15	9,35	-0,42
0:09:40	0,15	9,53	-0,42
0:09:50	0,15	9,69	-0,42
0:10:00	0,15	9,87	-0,42
0:10:10	0,15	10,03	-0,42
0:10:20	0,15	10,2	-0,42
0:10:30	0,15	10,37	-0,42
0:10:40	0,15	10,54	-0,42
0:10:50	0,15	10,71	-0,42
0:11:00	0,16	10,87	-0,42
0:11:10	0,16	11,04	-0,42
0:11:20	0,16	11,21	-0,42
0:11:30	0,17	11,38	-0,42
0:11:40	0,18	11,54	-0,42
0:11:50	0,19	11,71	-0,42
0:12:00	0,2	11,87	-0,42
0:12:10	0,21	12,02	-0,42
0:12:20	0,22	12,18	-0,42
0:12:30	0,23	12,34	-0,42
0:12:40	0,23	12,51	-0,42
0:12:50	0,23	12,67	-0,42
0:13:00	0,22	12,85	-0,42
0:13:10	0,22	13,01	-0,42
0:13:20	0,22	13,19	-0,42
0:13:30	0,22	13,35	-0,42
0:13:40	0,21	13,52	-0,42
0:13:50	0,21	13,69	-0,42
0:14:00	0,21	13,86	-0,42
0:14:10	0,21	14,03	-0,42
0:14:20	0,21	14,2	-0,42
0:14:30	0,21	14,37	-0,42
0:14:40	0,21	14,53	-0,42
0:14:50	0,21	14,71	-0,42

0:15:00	0,22	14,87	-0,42
0:15:10	0,21	15,04	-0,42
0:15:20	0,21	15,21	-0,42
0:15:30	0,22	15,38	-0,42
0:15:40	0,22	15,55	-0,42
0:15:50	0,22	15,72	-0,42
0:16:00	0,22	15,88	-0,42
0:16:10	0,22	16,05	-0,42
0:16:20	0,22	16,22	-0,42
0:16:30	0,22	16,39	-0,42
0:16:40	0,22	16,55	-0,42
0:16:50	0,22	16,72	-0,42
0:17:00	0,22	16,88	-0,42
0:17:10	0,22	17,05	-0,42
0:17:20	0,22	17,21	-0,42
0:17:30	0,22	17,38	-0,42
0:17:40	0,22	17,54	-0,42
0:17:50	0,22	17,71	-0,42
0:18:00	0,22	17,88	-0,42
0:18:10	0,22	18,05	-0,42
0:18:20	0,22	18,22	-0,42
0:18:30	0,21	18,39	-0,42
0:18:40	0,21	18,56	-0,42
0:18:50	0,21	18,73	-0,42
0:19:00	0,21	18,9	-0,42
0:19:10	0,21	19,07	-0,42
0:19:20	0,21	19,23	-0,42
0:19:30	0,21	19,41	-0,42
0:19:40	0,21	19,57	-0,42
0:19:50	0,21	19,73	-0,42
0:20:00	0,21	19,9	-0,42
Překročeno max. smykové posunutí 20 mm			

## Príloha 14 - Záznam z čerustovej (krabicovej) skúšky vlhkost' 17,33% zaťaženie 100 kPa

Názov úlohy	Bakalárska práca		
Vlhkosť	17,33%		
Číslo merania	2		
Dátum skúšky	29.3.2017		
Rýchlosť posunu	1mm/min		
Rozmer krabice	100 mm x 100 mm		
Výška vzorku	20 mm		
Normálové napätie $\sigma$	100 kPa		
Čas	Šmyková sila	Šmykové posunutie	Normálová deformácia
0:00:01	0	0	0
0:00:11	0,02	0,07	0
0:00:21	0,07	0,2	0
0:00:31	0,09	0,36	-0,02
0:00:41	0,11	0,52	-0,05
0:00:51	0,12	0,68	-0,08
0:01:01	0,14	0,84	-0,12
0:01:11	0,15	1	-0,15
0:01:21	0,16	1,17	-0,18
0:01:31	0,17	1,33	-0,2
0:01:41	0,18	1,5	-0,23
0:01:51	0,19	1,66	-0,25
0:02:01	0,2	1,83	-0,28
0:02:11	0,2	1,99	-0,3
0:02:21	0,21	2,16	-0,32
0:02:31	0,21	2,32	-0,34
0:02:41	0,22	2,49	-0,35
0:02:51	0,22	2,65	-0,36
0:03:01	0,23	2,81	-0,37
0:03:11	0,24	2,97	-0,38
0:03:21	0,24	3,14	-0,4
0:03:31	0,25	3,3	-0,41
0:03:41	0,25	3,47	-0,43
0:03:51	0,26	3,64	-0,44
0:04:01	0,26	3,8	-0,45
0:04:11	0,26	3,97	-0,46
0:04:21	0,27	4,13	-0,47
0:04:31	0,27	4,3	-0,48
0:04:41	0,27	4,46	-0,48
0:04:51	0,27	4,63	-0,49
0:05:01	0,27	4,8	-0,5
0:05:11	0,28	4,96	-0,51
0:05:21	0,28	5,13	-0,51
0:05:31	0,28	5,31	-0,52
0:05:41	0,28	5,47	-0,52
0:05:51	0,28	5,64	-0,52
0:06:01	0,28	5,81	-0,52
0:06:11	0,29	5,98	-0,52
0:06:21	0,29	6,14	-0,52
0:06:31	0,29	6,31	-0,52
0:06:41	0,3	6,47	-0,52
0:06:51	0,31	6,62	-0,52

0:07:01	0,32	6,78	-0,52
0:07:11	0,32	6,94	-0,52
0:07:21	0,33	7,11	-0,52
0:07:31	0,33	7,28	-0,52
0:07:41	0,33	7,45	-0,52
0:07:51	0,33	7,62	-0,52
0:08:01	0,33	7,78	-0,52
0:08:11	0,33	7,95	-0,52
0:08:21	0,33	8,11	-0,52
0:08:31	0,33	8,28	-0,52
0:08:41	0,33	8,44	-0,52
0:08:51	0,33	8,6	-0,52
0:09:01	0,33	8,78	-0,52
0:09:11	0,33	8,94	-0,52
0:09:21	0,33	9,11	-0,52
0:09:31	0,33	9,27	-0,52
0:09:41	0,33	9,44	-0,52
0:09:51	0,33	9,61	-0,52
0:10:01	0,33	9,78	-0,52
0:10:11	0,33	9,96	-0,52
0:10:21	0,33	10,13	-0,52
0:10:31	0,33	10,31	-0,52
0:10:41	0,33	10,48	-0,52
0:10:51	0,34	10,65	-0,52
0:11:01	0,34	10,82	-0,52
0:11:11	0,34	10,98	-0,52
0:11:21	0,35	11,14	-0,52
0:11:31	0,36	11,31	-0,52
0:11:41	0,37	11,47	-0,52
0:11:51	0,39	11,63	-0,52
0:12:01	0,51	11,78	-0,52
0:12:11	0,54	11,94	-0,52
0:12:21	0,54	12,11	-0,52
0:12:31	0,54	12,28	-0,52
0:12:41	0,54	12,44	-0,52
0:12:51	0,54	12,61	-0,52
0:13:01	0,54	12,78	-0,52
0:13:11	0,54	12,95	-0,52
0:13:21	0,54	13,12	-0,52
0:13:31	0,54	13,28	-0,52
0:13:41	0,53	13,45	-0,52
0:13:51	0,53	13,61	-0,52
0:14:01	0,53	13,77	-0,52
0:14:11	0,53	13,94	-0,52
0:14:21	0,53	14,11	-0,52
0:14:31	0,52	14,28	-0,52
0:14:41	0,52	14,45	-0,52
0:14:51	0,52	14,63	-0,52



0:15:01	0,52	14,8	-0,52
0:15:11	0,52	14,98	-0,52
0:15:21	0,52	15,14	-0,52
0:15:31	0,52	15,32	-0,52
0:15:41	0,52	15,49	-0,52
0:15:51	0,52	15,66	-0,52
0:16:01	0,52	15,82	-0,52
0:16:11	0,52	15,99	-0,52
0:16:21	0,53	16,15	-0,52
0:16:31	0,53	16,32	-0,52
0:16:41	0,54	16,48	-0,52
0:16:51	0,54	16,65	-0,52
0:17:01	0,55	16,81	-0,52
0:17:11	0,55	16,97	-0,52
0:17:21	0,55	17,13	-0,52
0:17:31	0,55	17,3	-0,52
0:17:41	0,55	17,47	-0,52
0:17:51	0,55	17,64	-0,52
0:18:01	0,55	17,81	-0,52
0:18:11	0,55	17,98	-0,52
0:18:21	0,55	18,15	-0,52
0:18:31	0,54	18,32	-0,52
0:18:41	0,54	18,5	-0,52
0:18:51	0,54	18,66	-0,52
0:19:01	0,53	18,83	-0,52
0:19:11	0,53	19	-0,52
0:19:21	0,53	19,17	-0,52
0:19:31	0,53	19,34	-0,52
0:19:41	0,53	19,5	-0,52
0:19:51	0,53	19,67	-0,52
0:20:01	0,52	19,83	-0,52
Překročeno max. smykové posunutí 20 mm			

## Príloha 15 - Záznam z čerustovej (krabicovej) skúšky vlhkost' 17,33% zaťaženie 200 kPa

Názov úlohy	Bakalárska práca		
Vlhkosť	17,33%		
Číslo merania	3		
Dátum skúšky	29.3.2017		
Rýchlosť posunu	1mm/min		
Rozmer krabice	100 mm x 100 mm		
Výška vzorku	20 mm		
Normálové napätie $\sigma$	200 kPa		
Čas	Šmyková sila	Šmykové posunutie	Normálová deformácia
0:00:01	0	0	0
0:00:11	0,1	0,05	0
0:00:21	0,26	0,18	0
0:00:31	0,38	0,33	-0,01
0:00:41	0,44	0,49	-0,03
0:00:51	0,48	0,65	-0,05
0:01:01	0,52	0,81	-0,08
0:01:11	0,55	0,97	-0,1
0:01:21	0,57	1,13	-0,12
0:01:31	0,6	1,3	-0,14
0:01:41	0,61	1,46	-0,16
0:01:51	0,62	1,63	-0,18
0:02:01	0,63	1,79	-0,19
0:02:11	0,64	1,95	-0,2
0:02:21	0,65	2,12	-0,22
0:02:31	0,66	2,28	-0,23
0:02:41	0,67	2,44	-0,25
0:02:51	0,67	2,61	-0,27
0:03:01	0,69	2,78	-0,27
0:03:11	0,69	2,94	-0,28
0:03:21	0,7	3,11	-0,3
0:03:31	0,7	3,27	-0,3
0:03:41	0,71	3,44	-0,32
0:03:51	0,72	3,6	-0,32
0:04:01	0,73	3,77	-0,33
0:04:11	0,73	3,93	-0,33
0:04:21	0,73	4,1	-0,33
0:04:31	0,74	4,26	-0,35
0:04:41	0,74	4,43	-0,35
0:04:51	0,74	4,6	-0,35
0:05:01	0,75	4,77	-0,37
0:05:11	0,76	4,93	-0,37
0:05:21	0,76	5,09	-0,37
0:05:31	0,76	5,26	-0,37
0:05:41	0,76	5,43	-0,37
0:05:51	0,77	5,58	-0,37
0:06:01	0,78	5,75	-0,37
0:06:11	0,78	5,91	-0,37
0:06:21	0,79	6,08	-0,37
0:06:31	0,8	6,24	-0,37
0:06:41	0,8	6,4	-0,37
0:06:51	0,81	6,57	-0,37

0:07:01	0,81	6,73	-0,37
0:07:11	0,81	6,9	-0,37
0:07:21	0,81	7,07	-0,37
0:07:31	0,81	7,24	-0,37
0:07:41	0,81	7,41	-0,37
0:07:51	0,81	7,58	-0,37
0:08:01	0,81	7,74	-0,37
0:08:11	0,8	7,91	-0,37
0:08:21	0,8	8,08	-0,37
0:08:31	0,8	8,25	-0,37
0:08:41	0,8	8,42	-0,37
0:08:51	0,8	8,58	-0,37
0:09:01	0,81	8,75	-0,37
0:09:11	0,81	8,92	-0,37
0:09:21	0,81	9,09	-0,37
0:09:31	0,81	9,26	-0,37
0:09:41	0,8	9,43	-0,37
0:09:51	0,81	9,6	-0,37
0:10:01	0,81	9,76	-0,37
0:10:11	0,81	9,93	-0,37
0:10:21	0,81	10,09	-0,37
0:10:31	0,82	10,26	-0,37
0:10:41	0,82	10,43	-0,37
0:10:51	0,83	10,58	-0,37
0:11:01	0,84	10,74	-0,37
0:11:11	0,86	10,9	-0,37
0:11:21	0,86	11,06	-0,37
0:11:31	0,87	11,23	-0,37
0:11:41	0,88	11,39	-0,37
0:11:51	0,88	11,56	-0,37
0:12:01	0,89	11,72	-0,37
0:12:11	0,89	11,89	-0,37
0:12:21	0,9	12,06	-0,37
0:12:31	0,9	12,23	-0,37
0:12:41	0,89	12,4	-0,37
0:12:51	0,89	12,56	-0,37
0:13:01	0,89	12,72	-0,37
0:13:11	0,89	12,89	-0,37
0:13:21	0,89	13,05	-0,37
0:13:31	0,89	13,21	-0,37
0:13:41	0,89	13,38	-0,37
0:13:51	0,88	13,55	-0,37
0:14:01	0,88	13,73	-0,37
0:14:11	0,88	13,9	-0,37
0:14:21	0,88	14,08	-0,37
0:14:31	0,88	14,25	-0,37
0:14:41	0,88	14,42	-0,37
0:14:51	0,88	14,6	-0,37

0:15:01	0,88	14,77	-0,37
0:15:11	0,88	14,94	-0,37
0:15:21	0,88	15,1	-0,37
0:15:31	0,88	15,27	-0,37
0:15:41	0,89	15,43	-0,37
0:15:51	0,89	15,59	-0,37
0:16:01	0,89	15,76	-0,37
0:16:11	0,89	15,92	-0,37
0:16:21	0,89	16,08	-0,37
0:16:31	0,9	16,24	-0,37
0:16:41	0,9	16,4	-0,37
0:16:51	0,9	16,57	-0,37
0:17:01	0,9	16,74	-0,37
0:17:11	0,9	16,9	-0,37
0:17:21	0,9	17,07	-0,37
0:17:31	0,89	17,24	-0,37
0:17:41	0,89	17,41	-0,37
0:17:51	0,89	17,58	-0,37
0:18:01	0,89	17,74	-0,37
0:18:11	0,89	17,91	-0,37
0:18:21	0,88	18,08	-0,37
0:18:31	0,88	18,25	-0,37
0:18:41	0,88	18,42	-0,37
0:18:51	0,88	18,59	-0,37
0:19:01	0,87	18,76	-0,37
0:19:11	0,87	18,94	-0,37
0:19:21	0,86	19,11	-0,37
0:19:31	0,86	19,28	-0,37
0:19:41	0,86	19,45	-0,37
0:19:51	0,85	19,62	-0,37
0:20:01	0,85	19,79	-0,37
0:20:11	0,85	19,96	-0,37
Překročeno max. smykové posunutí 20 mm			



<http://fast10.vsb.cz/svoc/svoc2002/sekce/sekce6b.pdf>

<http://fast10.vsb.cz/svoc/svoc2002/sekce/sekce6b.pdf>